

**ESTUDIO DE LA DURABILIDAD DE UNA MEZCLA DE
CONCRETO ALIGERADO MEDIANTE LA UTILIZACIÓN DE
ARCILLA EXPANDIDA DE SUMICOL**

**AUTORES:
MIGUEL MEJÍA NOREÑA
SANTIAGO ZULUAGA GUTIÉRREZ**

**Trabajo de grado para optar al título de:
Ingeniero Civil**

**DIRECTOR:
Ana María Mesa Mejía**



**UNIVERSIDAD EIA
CONCRETO
INGENIERÍA CIVIL
ENVIGADO
2016**

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo está dedicado a todas y cada una de las personas que han aportado de forma directa o indirecta a nuestro proceso de formación profesional y personal en nuestra carrera, especialmente a nuestros padres, quienes fueron los pilares para la construcción de éste logro.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	13
1. PRELIMINARES.....	14
1.1 Planteamiento del problema	14
1.2 Objetivos del proyecto	15
1.2.1 Objetivo General	15
1.2.2 Objetivos Específicos	15
1.3 Marco de referencia.....	15
1.3.1 Requisitos técnicos para los agregados del concreto estructural.....	16
1.3.2 Agregado de arcilla expandida térmicamente	18
1.4 Requisitos técnicos de los concretos estructurales livianos.....	21
1.4.1 Resistencia.....	21
1.4.2 Durabilidad	22
1.5 Estudios previos del uso de arcillas expandidas como agregado para concreto estructural	29
2. METODOLOGÍA.....	32
2.1 Etapa 1: Identificación de variables	32
2.2 Etapa 2: Diseño de Experimento	32
2.2.1 Determinación de la cantidad de cilindros por ensayo	33
2.2.2 Elaboración y Curado de los cilindros	33
2.3 Etapa 3: Ensayos de Laboratorio.....	34
2.4 Etapa 4: Análisis de resultados.....	34

3. PRODUCTOS, RESULTADO Y ENTREGABLES OBTENIDOS.....	35
3.1 Parámetros normativos para los ensayos.....	36
3.1.1 Resistencia a la penetración del ion-cloruro (ASTM-C1202).....	36
3.1.2 Resistencia mecánica (NTC 643).....	36
3.1.3 Permeabilidad (NTC- 4483)	37
3.1.4 Resistencia a la abrasión (NTC 5147).....	37
3.2 Caracterización de los materiales utilizados	38
3.2.1 Arcilla expandida térmicamente	38
3.2.2 Características Arena lavada	39
3.2.3 Características de Triturado 1"	40
3.3 Secuencia del Experimento	41
3.3.1 Elaboración de cilindros	41
3.3.2 Ensayo de compresión Simple	45
3.3.3 Ensayo de Permeabilidad	46
3.3.4 Ensayo de Carbonatación	50
3.3.5 Ensayo de Penetración Ion cloruro	51
4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS	53
4.1 Densidad de las mezclas.....	53
4.2 Ensayo de Resistencia a la compresión	53
4.3 ensayo de resistencia a la Penetración del ión cloruro	55
4.4 Ensayo DE PERMEABILIDAD.....	56
4.5 Ensayo de carbonatación	58
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	60

BIBLIOGRAFÍA.....	63
-------------------	----

LISTA DE TABLAS

	pág.
Tabla 1. Resumen de los requisitos de NTC 4045 que deben cumplir los agregados livianos para uso en concreto estructural.	17
Tabla 2. Estimativo de tiempo en años para que la carbonatación alcance al acero de refuerzo.	30
Tabla 3. Número de probetas experimentales cambiando los porcentajes de arcilla (50%,100%, 0%Patron).	35
Tabla 4. Penetración ion cloruro basado en la carga que pasa.	36
Tabla 5. Factor de corrección longitud diámetro	36
Tabla 6. Precisión del ensayo en ensayos de cilindros de 150 mm por 300 mm y 100 mm por 200 mm.	37
Tabla 7. Determinación del coeficiente de permeabilidad y profundidad de penetración.....	37
Tabla 8. Abrasive charges.	38
Tabla 9. Propiedades de AREX.	39
Tabla 10. Resultado de densidades.....	53
Tabla 11. Resultados de compresión.....	54
Tabla 12. Penetración del ion cloruro basada en la carga pasada.	55
Tabla 13. Resultados de permeabilidad.....	57
Tabla 14. Resultados de absorción.....	69

LISTA DE FIGURAS

pág.

Ilustración 1. Representación esquemática de la capa tetraédrica y octaédrica.	19
Ilustración 2. Horno tubular rotatorio.	19
Ilustración 3. Horno vertical	20
Ilustración 4. Expansión en la cinta de sinterizar.	21
Ilustración 5. Cloruro en el sistema Poroso del concreto.	23
Ilustración 6. Efecto de la resistencia a compresión y del tipo de agregado sobre la resistencia a abrasión del concreto.	26
Ilustración 7. Ensayo con indicador de fenolftaleína para evaluar carbonatación en el concreto.	28
Ilustración 8. Características arena lavada.	40
Ilustración 9. Características trituradas.	41
Ilustración 10. Pesaje de Materiales.	43
Ilustración 11. Conformación mezcla.	43
Ilustración 12. Asentamiento mezcla cono.	44
Ilustración 13. Vaciado de cilindros y tortas.	44
Ilustración 14. Curado de cilindros.	45
Ilustración 15. Falla a compresión de cilindros.	45
Ilustración 16. Falla típica cilindro sometido a compresión.	46
Ilustración 17. Corte de cilindros ensayo de permeabilidad.	47
Ilustración 18. Cilindros con pintura epóxica.	47
Ilustración 19. Muestras en equipo de permeabilidad.	48
Ilustración 20. Esquema equipo de permeabilidad.	48
Ilustración 21. Tracción indirecta.	49
Ilustración 22. Medida de profundidad de espécimen.	49
Ilustración 23. Cámara de carbonatación	51
Ilustración 24. Montaje ensayo RCPT.	52
Ilustración 25. Muestra 1 (100%); Muestra 2 (50%); Muestra 3 (0%).	56
Ilustración 26. Medida cilindro (9) 0% arcilla.	57
Ilustración 27. Cilindro (4) 50 arcilla 50% agregado grueso.	58
Ilustración 28 Cilindro (8) 100% arcilla	58
Ilustración 29. Cilindro después de cámara de carbonatación	59
Ilustración 30. Corte de cilindros ensayo de absorción	67
Ilustración 31 Horno 100°C para calentamiento de cilindros.	67
Ilustración 32. Cilindros sumergidos en agua	68
Ilustración 33. Calentamiento de cilindros	68
Ilustración 34. Peso específico	69

LISTA DE ANEXOS

pág.

ANEXO 1. Ensayo de absorción	67
ANEXO 2. Resultados permeabilidad ión cloruro	70

GLOSARIO

- **Arcilla Expandida:** la arcilla expandida es un agregado inerte y ligero producido industrialmente que reemplaza con ventajas tecnológicas a los agregados naturales en la elaboración de concretos estructurales y aislantes para la industria de la construcción.
- **Concreto Liviano Estructural:** es un concreto que posee una densidad insitu entre 1440-1840 kg/m³ en comparación con el concreto de peso normal, que posee una densidad en el rango de 2240-2400 kg/m³.
- **Agregado Liviano:** son agregados que presentan una baja densidad.
- **Tortuosidad:** la medida de la desviación que presenta el sistema poroso real respecto a un sistema equivalente de tubos capilares.
- **NSR-10:** es el reglamento de construcción sismo resistente, el cual contiene los requisitos mínimos para el diseño y construcción de edificaciones nuevas, con el fin de que sean capaces de resistir las fuerzas que les imponen la naturaleza o su uso y para incrementar su resistencia a los efectos producidos por los movimientos sísmicos. Además para edificaciones construidas antes de la vigencia del presente reglamento, establece los requisitos a emplear en la evaluación, adición, modificación y remodelación del sistema estructural; el análisis de vulnerabilidad, el diseño de las intervenciones de reforzamiento y rehabilitación sísmica.
- **A.S.T.M:** sigla de la American Society for Testing and Materials, fundada en 1898. es la mayor organización científica y técnica para el establecimiento y la difusión de normas relativas a las características y prestaciones de materiales, productos, sistemas y servicios.
- **Durabilidad:** habilidad para resistir la acción del intemperismo, el ataque químico, abrasión, y cualquier otro proceso o condición de servicio de las estructuras, que produzcan deterioro del concreto (AMERICAN CONCRETE INSTITUTE, 2001).

- **Curado**: el curado consiste en el mantenimiento de contenidos de humedad y de temperaturas satisfactorios en el concreto durante un periodo definido inmediatamente después de la colocación y acabado, con el propósito que se desarrollen las propiedades deseadas.
- **Fraguado**: es el proceso de endurecimiento y pérdida de plasticidad del hormigón (o mortero de cemento), producido por la desecación y recristalización de los hidróxidos metálicos —procedentes de la reacción química del agua de amasado— con los óxidos metálicos presentes en el clinker que compone el cemento.
- **Etringita**: es un sulfoaluminato de calcio hidratado que se forma durante las primeras etapas de hidratación del cemento portland a partir de la reacción de la fase aluminato del clinker ($(\text{CaO})_3\text{Al}_2\text{O}_3$) con el yeso ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) empleado para retardar el fraguado.

RESUMEN

En el mundo de la construcción, los materiales representan un amplio tema de investigación, debido a que estos brindan diversas soluciones a los diferentes problemas que se presentan día a día en el sector. El conocimiento de nuevos materiales los cuales permitan realizar diseños de mejor desempeño, disminución de costos o reducción de tiempos de construcción genera que se rompan los paradigmas en el tradicionalismo que existe actualmente en la ingeniería civil.

Este trabajo de grado está enfocado en el área de desarrollo de nuevos materiales empleados en la industria de la construcción y tiene como finalidad, observar cómo afecta la adición de arcilla expandida producida por la empresa Sumicol, la durabilidad de los concretos estructurales.

Para conocer mejor las propiedades y tener un concepto más claro sobre el comportamiento de la durabilidad del concreto con arcilla expandida, se realizaron ensayos de compresión, carbonatación, permeabilidad y penetración ion cloruro según los estándares de la Normas NTC y ASTM correspondientes.

Palabras clave: Concreto liviano estructural, agregado liviano, arcilla expandida térmicamente, durabilidad.

ABSTRACT

In the world of the construction, the materials represent a broad topic in research because they bring multiple solutions to the daily problems in the field. The knowledge in new materials that let make better designs with the best performance, costs reduction or even reduction in construction time costs generates that currents paradigms in the civil engineering brake.

This work is focused in the development of new materials used in the construction industry, and its purpose is to observe how the addition of Sumicol's expanded clay affects the durability of structural concretes.

To understand the properties and have a clear concept about the behavior of the concrete with expanded clay's durability some essays were made, such as compression, carbonation, permeability and chloride ion penetration, according to the NTC and ASTM rules.

Key words: Lightweight structural concrete, lightweight aggregate, thermally expanded clay, Durability

INTRODUCCIÓN

Está comprobado que el concreto con agregado liviano de origen natural se ha venido utilizando desde los antiguos romanos (300 A.C) como herramienta de construcción para algunas de las obras de ingeniería más sorprendentes en la historia, como el coliseo romano. A pesar de esa utilización del concreto liviano, su desarrollo no se potenció hasta el año 1824, cuando se creó un cemento denominado Portland, que permitió la fabricación de un nuevo material denominado concreto u hormigón, el cual se conformaba por arenas, gravas, cemento portland y agua.

Debido a esto, el concreto ha sido el material principal utilizado en el sector de la construcción, por las características que este presenta, su versatilidad en cuanto a forma y positiva relación costo beneficio a la hora de ser utilizado. Esto llevó a un desarrollo acelerado en la obtención de concretos más resistentes, manejables y durables.

Con el aumento en la demanda de concreto y en vista del avance que se aparecía en las tecnologías, fue clara la necesidad de buscar materiales de menor peso, pero sin cambiar las propiedades resistentes del concreto, esta reducción en el peso podría generar una gran disminución global en los costos de construcción sin disminuir la seguridad de la estructura. Esta búsqueda llevó al desarrollo de concretos livianos estructurales.

El presente trabajo se concentrará en la utilización de arcilla expandida térmicamente como reemplazo parcial o total de los agregados gruesos, con el objetivo de utilizarlos en concretos estructurales en Colombia, cumpliendo todos los requerimientos de durabilidad estipulados en el reglamento Colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10).

Por consiguiente este documento tiene como propósito analizar cómo afecta la adición de arcilla expandida térmicamente la durabilidad de los concretos estructurales.

1. PRELIMINARES

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años se ha presentado en el mundo una creciente demanda en el sector de la construcción, expandiéndose en un 5,2% promedio anual (Reuters, 2014), lo que ha generado una constante innovación en los tipos de materiales utilizados, siendo el de mayor importancia el concreto debido a sus grandes ventajas. Estas innovaciones buscan que los materiales no solo satisfagan los requerimientos de diseño exigidos por norma, sino también que optimicen la relación costo beneficio (Roca Ramón & Casals Casanova, 2005).

Aunque el concreto convencional se sigue utilizando debido a sus propiedades de resistencia y durabilidad, en países desarrollados como Estados Unidos y Alemania se han llevado a cabo investigaciones para mejorar sus cualidades, ya que su alta densidad (alrededor de 2200-2400 kg/m³), lo convierte en un material pesado (Cervantes , 2008). Esta búsqueda condujo al desarrollo de concretos livianos estructurales, en los cuales se conjugaban las propiedades de resistencia y durabilidad del concreto convencional y además contaban con una ventaja adicional: su ligereza (Martínez Pineda, 2010).

Por lo anterior, el concreto liviano estructural se comenzó a industrializar en países como Estados Unidos y Europa, a través de la producción de agregados livianos artificiales, que por su naturaleza eran los adecuados para participar como componente de este tipo de hormigón. Entre los agregados livianos artificiales, la arcilla expandida térmicamente es la más utilizada en el mundo, debido a que reduce hasta un 30% el peso de la estructura y a las buenas propiedades mecánicas que posee, lo cual genera beneficios económicos y constructivos (Martínez Pineda, 2010).

Sin embargo, la utilización de un concreto no está regida únicamente por la resistencia que este posee sino también por su durabilidad, es decir la capacidad de resistir de forma satisfactoria las condiciones de exposición a las que estará sujeta la estructura durante su vida útil, tales como: la meteorización, la acción química y el desgaste. Esta capacidad puede verse afectada por las condiciones atmosféricas, temperaturas extremas, abrasión, acción electrolítica, entre otros; los cuales son agentes que están ligados a las características propias de la región (Rivera, 2005).

En Colombia es condicionada la producción de concreto liviano estructural de manera industrializada, ya que aún se tienen interrogantes con respecto a su

rendimiento desde el punto de vista de la durabilidad, debido a que se cuenta con la presencia de diferentes fuentes de agregados identificados como reactivos y la presencia de cementos nacionales con alto contenido de álcalis (Silva Correal, 2014), donde algunos agregados reaccionan químicamente con el medio de contacto, dando como resultado la formación de un gel, que al ganar agua, se expande y crea presiones capaces de fisurar el concreto (Constain Van-Reck, 1999). Es por esto que surge la necesidad de realizar los ensayos pertinentes para lograr la utilización de este tipo de hormigón en Colombia; todo esto cumpliendo los requerimientos que impone la Norma Sismo-Resistente Colombiana acerca del uso de concretos estructurales livianos, tanto en resistencia como en durabilidad.

1.2 OBJETIVOS DEL PROYECTO

1.2.1 Objetivo General

Evaluar las propiedades de durabilidad de una mezcla de concreto aligerada con arcilla expandida de Sumicol por medio de la realización de ensayos experimentales con miras a ser utilizada para concreto estructural en Colombia.

1.2.2 Objetivos Específicos

- Identificar las variables pertinentes en el diseño de la mezcla proporcionada por Conconcreto.
- Determinar el número de combinaciones y repeticiones en cada muestra y para casa ensayo.
- Caracterizar física y mecánicamente las mezclas elaboradas.
- Establecer la factibilidad de usar este agregado mediante la comparación con concreto convencional.

1.3 MARCO DE REFERENCIA

Se data que aproximadamente en el año 2500 a.C en las épocas del imperio sumerio-babilónico se dieron los primeros intentos de producción de materiales de construcción ligeros, mediante poros en ladrillos cerámicos con la ayuda de materias combustibles en forma fina (SCHMIDT, 1970).

Las arcillas son un producto conocido y utilizado desde la época de las construcciones romanas en sus variantes naturales, su fabricación industrial se inicia en la década de 1910, siendo su uso ininterrumpido desde entonces y con una amplia difusión a nivel mundial (Asociación Argentina del Hormigón Elaborado, 2004).

El granulado de arcilla expandida apareció en el comercio norteamericano bajo la marca HAYDITE, se empleó al principio como árido ligero para la construcción de buques de hormigón como consecuencia de la falta de acero una vez finalizada la Primera Guerra Mundial. Después de diversas construcciones navales eficaces, pronto se unió en su consumo la industria americana de la construcción, con lo que casi se triplicó la producción desde el fin de la Primera Guerra Mundial hasta 1945. Cuando termina la Segunda Guerra Mundial experimenta un notable aumento el empleo de productos de arcilla expandida en las construcciones elevadas y subterráneas, de tal forma que la producción en EE.UU. de arcilla expandida en el año 1955 fue de 1,7 millones de m³ y en 1958 alcanzó más de los 3 millones de m³ (SCHMIDT, 1970).

El concreto estructural aligerado con arcilla expandida presenta bastante documentación a nivel internacional debido a las buenas características que presenta. Sin embargo, la mayoría de los estudios son acerca de la resistencia mecánica de estos concretos, dejando en segundo plano su durabilidad; solo autores como Hubertová y Hela, 2013 evaluaron la reacción de este tipo de concretos ante líquidos químicamente agresivos y ambientes gaseosos (altas concentraciones de sulfato, iones cloruro, petróleo y ambientes gaseosos CO₂ y SO₂). Aunque el concreto estructural aligerado con arcilla existe hace mucho tiempo, a nivel nacional existe un déficit investigativo en este campo por lo que es poco lo que se conoce (Silva Correal, 2014).

Por otro lado, en Colombia no se contaba con una normatividad que rigiera el uso de concretos aligerados en elementos estructurales; fue hasta la actualización de la norma NSR en el año 2010 que se empezó a contar con esta, fomentando así la investigación de las propiedades de estos concretos para el cumplimiento de la norma y el posterior uso en obra (Martínez Pineda, 2010).

1.3.1 Requisitos técnicos para los agregados del concreto estructural

Los agregados utilizados en la elaboración del concreto componen entre 60% a 75% del volumen y entre 79% y 85% del peso. Su función es la de relleno para reducir la cantidad de pasta de la mezcla y proporcionar la estabilidad volumétrica. Su optimización dentro de la mezcla mejora la calidad y los costos (Rodríguez Loaiza, 2014).

La norma NTC-4045-agregados livianos para concreto estructural, tiene en cuenta los agregados livianos para concreto estructural, considerando un material de poco peso y buena resistencia. Describe dos tipos de agregados livianos: *agregados procesados y agregados naturales*.

Los agregados procesados son aquellos obtenidos por expansión, paletización o sintonización de productos como escorias, arcillas, diatomitas, cenizas y

esquistos. Los agregados naturales son los compuestos por materiales celulares livianos e inorgánicos granulares (NTC 4045).

La Tabla 1 resume los parámetros a tener en cuenta para la utilización de los agregados livianos en el concreto estructural, según la NTC 4045.

Tabla 1 Resumen de los requisitos de NTC 4045 que deben cumplir los agregados livianos para uso en concreto estructural.

Parámetros	Propiedades	Requisitos
Composición Química	Impurezas orgánicas NTC 127 (ASTM C40)	Se rechaza el agregado fino que produce un color más oscuro.
	Manchas (ASTM C 641)	Se rechaza el agregado que produce manchas fuertes. El material que produce la mancha tiene contenido de hierro (Fe ₂ O ₃) mayor o igual a 1.5
	Pérdida por ignición NTC 184 (ASTM C 114)	La pérdida debe ser menor al 5%.
Propiedades Físicas	Terrones de Arcilla	Deben ser menores al 2% de la masa seca
	Gradación	Se establecen los requisitos de granulometrías en porcentaje de masa, de acuerdo con la designación de tamaños de agregados: fino, grueso y combinado (grueso + fino)
	Uniformidad de Gradación	Se rechaza el agregado si el módulo de finura de las muestras difiere en más del 7%.
	Masa Unitaria	Agregado Fino 1120 Kg/m ³ ; Agregado Grueso 880 Kg/m ³ ;

		Agregados Finos y Combinados 1040 Kg/m ³
	Uniformidad de la Masa Unitaria	Se rechaza el agregado si hay diferencias entre las muestras las cuales difiere en más del 10% de los valores de masa

Tomado de (Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010).

1.3.2 Agregado de arcilla expandida térmicamente

La arcilla expandida térmicamente es un material aislante de origen cerámico producido industrialmente. Su materia prima es la arcilla extraída de canteras a cielo abierto. La arcilla pura se almacena en naves industriales cerradas donde se le aplica un proceso de homogenización y secado. Posteriormente es molida hasta obtener un polvo impalpable llamado crudo. Luego es aglomerado en platos granuladores por efectos de rotación controlado para obtener el germen de la arcilla expandida, el cual es de tamaño de 0 a 4 mm. La expansión se produce en hornos rotatorios por choque térmico, donde al comenzar a fundirse la arcilla se produce la combustión de la materia orgánica, que produce gases que expanden la bolita de barro hasta cinco o más veces su tamaño original (Rodríguez Loaiza, 2014).

Las arcillas expandidas se producen mediante el calentamiento de la arcilla natural, la cual se expande a temperaturas entre 1000 a 1200° C debido a la acción de los gases del interior de la masa. La expansión en la arcilla, es causada por el vapor de agua, descomposición de minerales, gases formados a diferentes temperaturas de origen orgánico y agentes expansores. Estos gases y vapores se quedan atrapados en la masa de arcilla. Su peso liviano se atribuye a la alta proporción de poros semi-cerrados que pueden alcanzar hasta el 90% del volumen (Rodríguez Loaiza, 2014).

- **Composición de las arcillas**

Las arcillas expandidas son un material que tiene una estructura cristalina, la cual está formada principalmente por dos grupos: sílice tetraédricos y alúmina octaédricos como se puede observar en Ilustración 1.

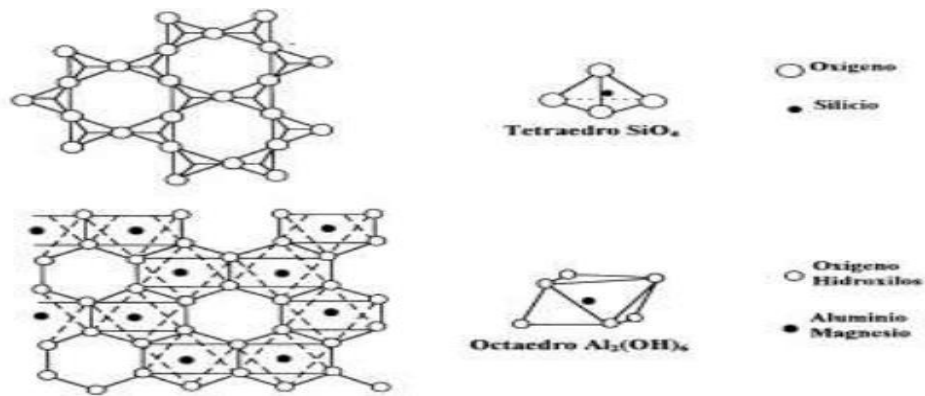


Ilustración 1. Representación esquemática de la capa tetraédrica y octaédrica.

Al generarse la condensación de ambas caras formando láminas se crea la estructura final. Para ello se comparten los oxígenos de la capa tetraédrica con los oxígenos libres de la octaédrica. Si un mineral de arcilla presenta un empaquetamiento de una capa tetraédrica y una octaédrica se denomina de tipo 1:1; de una octaédrica entre dos tetraédricas, de tipo 2:1; y si son dos de cada uno, tipo 2:2

- **Expansión en horno tubular rotatorio**

Este procedimiento consiste en un cilindro puesto en forma horizontal con una inclinación de 5 grados, el cual tiene una rotación alrededor de su eje. . La longitud del horno depende de la composición de la materia prima que será expandida,

Puede oscilar entre 30 y 60 m de longitud. La materia prima ingresa por uno de los extremos del horno recorriéndolo completamente, en donde aumenta su temperatura gradualmente. Finalmente el material es depositado dentro de un enfriador rotatorio donde se enfría con aire frío (Bueno Quintero, 2015). En la Ilustración 2 se muestra un esquema del horno tubular rotatorio.

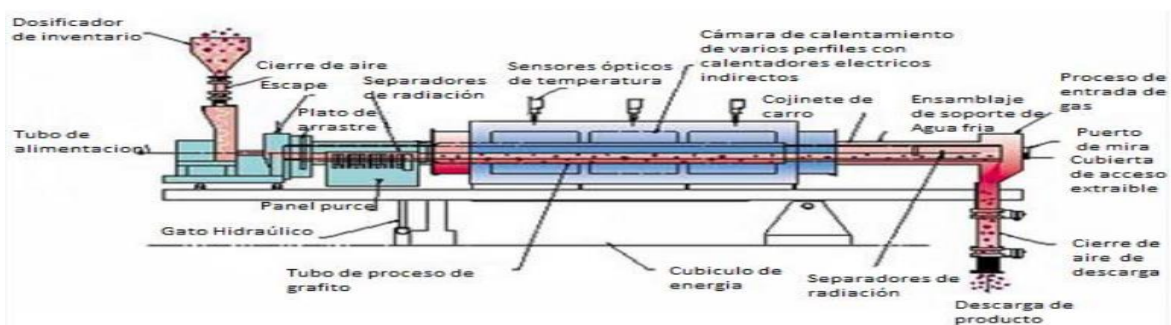


Ilustración 2. Horno tubular rotatorio.

Tomado de Bueno Quintero

- **Procedimiento en horno vertical**

En este procedimiento, los granos de arcilla redondeados producidos previamente mediante un plato granulador llegan en cargas continuas a un horno vertical como se muestra en Ilustración 3. Horno vertical Después de pasar por un tambor de secado. En este sitio, el chorro de gases de combustión entra por el centro de la parte inferior de la cámara de combustión, toma al material y lo envía hacia arriba, hasta lograr que el empuje de expansión del gas sea menor que la fuerza de gravedad

El material cae rodando en la base de la cámara en forma de tolva, donde toma de nuevo el chorro de humos y se ve otra vez empujado hacia arriba. Este proceso se repite varias veces.

La combustión dura en total 40 segundos. Este procedimiento de expansión necesita aproximadamente un minuto por operación, incluyendo el tiempo necesario para la carga y extracción del material (Bueno Quintero, 2015).

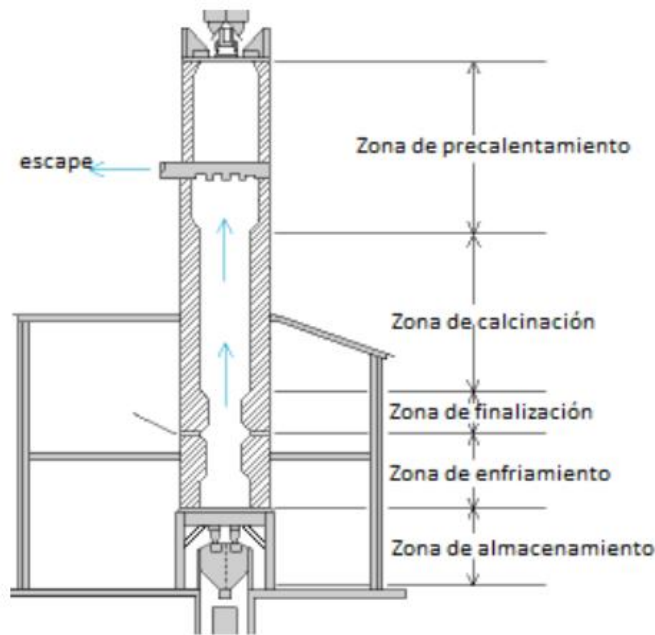


Ilustración 3. Horno vertical

Fuente Bueno Quintero

- **Expansión en la cinta de sinterizar**

La materia prima se pone en capas sueltas de aproximadamente 15 a 300 mm de espesor sobre la cinta como se muestra en Ilustración 4. “La cual trasporta el

material bajo una zona de secado e ignición. La fuente de calor está situada en la parte superior lo cual admite que la combustión del material empiece desde la parte superior de la capa y continúe hacia abajo, los gases formados producen la expansión del material. En la fabricación de los agregados livianos es adecuada tan solo la sinterización de granos a los que se ha dado previamente una forma conveniente, puesto que, solo así se puede conseguir un grano redondeado con superficie cerrada” (Bueno Quintero, 2015).



Ilustración 4. Expansión en la cinta de sinterizar.

fuelle Bueno Quintero.

1.4 REQUISITOS TÉCNICOS DE LOS CONCRETOS ESTRUCTURALES LIVIANOS

1.4.1 Resistencia

El reglamento colombiano de construcción sismo resistente (NSR-10), define el concreto liviano tal como lo hace la NTC 4022-masa unitaria del concreto estructural (ASTMC567), mencionando su densidad de equilibrio entre 1440 kg/m^3 a 1840 kg/m^3 . La densidad de equilibrio es la medida para determinar el cumplimiento de los requisitos de densidad de servicio y se determina por medición o cálculo por medio de la densidad del material o sus componentes en sus debidas proporciones, secado en horno (*Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010*).

Para ser un concreto estructural su resistencia debe ser mayor a 17 MPa, esta mezcla se elabora con agregado grueso liviano y en ocasiones con agregado fino de peso liviano (por lo general son arcillas, esquistas y pizarras expandidas) (*Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica, 2010*).

1.4.2 Durabilidad

Un concreto durable es aquel que resiste la acción del intemperismo, el ataque químico, la abrasión, o cualquier otro proceso o condición de servicio de las estructuras, que produzca deterioro del concreto durante su vida útil. Sin embargo según el comité euro-internacional del hormigón (CEB) y la federación internacional del pretensado (FIP), dice que el requisito básico para proyectar el concreto estructural teniendo en cuenta la durabilidad es “se proyectarán, construirán y utilizarán las estructuras de concreto de tal como que, las condiciones ambientales previstas, mantengan su seguridad, funcionalidad y buen aspecto, durante un periodo de tiempo explícito o implícito, sin que se requieran costos elevados e inesperados de mantenimiento y reparación” (Londoño, 2012).

Es indispensable que el concreto resista, sin deteriorarse con el tiempo, las condiciones para las cuales se ha diseñado la mezcla. Las causas de deterioro pueden deberse al medio al que está expuesto el concreto, o a causas internas de este. Las causas externas pueden ser físicas, químicas o mecánicas; originadas por condiciones atmosféricas, temperaturas extremas, abrasión, acción eléctrica, ataques por líquidos y gases de origen natural industrial. El grado de deterioro dependerá principalmente de la calidad del concreto, aunque en condición extrema cualquier concreto sin protección se deteriorará. Las causas internas son: la reacción álcali-agregado, cambios de volumen debidos a diferencias entre propiedades térmicas del agregado y de la pasta de cemento y sobre todo la permeabilidad del concreto; este es un factor determinante en la vulnerabilidad del concreto ante los agentes externos y por ellos un concreto durable debe ser relativamente impermeable (NORMA TÉCNICA COLOMBIANA NTC-5551, 2007).

Entre los factores que más limitan la vida útil de las estructuras de concreto, se encuentran la presencia de cloruros, carbonatación, agresión química, ciclos hielo-deshielo y la sobre carga. Con fines de verificar el tema de durabilidad se utilizó la norma NSR-10, como en la ACI 213R-03, debido a que esta presenta mayor información acerca de la durabilidad de los concretos estructurales livianos, respecto a los siguientes ensayos:

- **Resistencia a la penetración del ion-cloruro (ASTM-C1202)**

El ion cloruro penetra en el concreto y reacciona químicamente con el hidróxido de calcio y con el aluminato cálcico. Esas reacciones provocan una disminución de la capa de pasivación que protege al acero de refuerzo, produciendo corrosión en presencia de humedad (Martínez Pineda, 2010).

Los iones cloruro pueden estar presentes en el concreto desde la mezcla de ingredientes en el momento del proceso de fabricación (agregados, agua, acelerante) o desde fuentes externas (sales de deshielo, agua de mar, agua subterránea). Se debe tener en cuenta que no todos los cloruros

en el concreto están en movimiento, parte de estos iones son enlazados por los componentes del cemento, especialmente a los aluminatos, mediante mecanismos químicos (reacción) y físicos (adsorción). (León Moncada & Oróstegui Olarte, 2009).

Los componentes del concreto que generan una reacción con el anión cloruro son el aluminato tricálcico y el ferrito-aluminato tetra-cálcico, dando como resultado la formación de $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ y de $3\text{CaO} \cdot \text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{CaCl}_2 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ respectivamente, compuestos conocidos como sales de Friedel como se muestra en Ilustración 5. Se pueden decir que los iones cloruro que se encuentran en estado libre, puede llegar a desencadenar un fenómeno corrosivo sobre la armadura del concreto (León Moncada & Oróstegui Olarte, 2009).

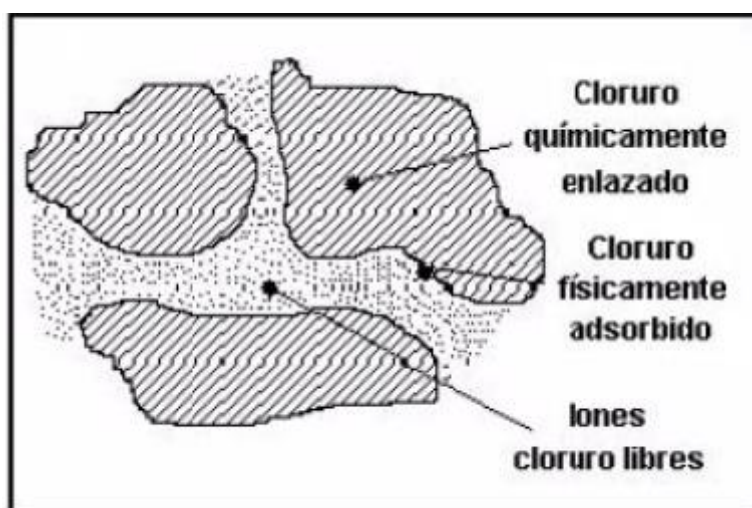


Ilustración 5. Cloruro en el sistema Poroso del concreto.
Tomado de León Moncada & Oróstegui Olarte

En la corrosión inducida por cloruros, la duración del periodo de iniciación depende de la tasa de penetración de los iones cloruro en el concreto, la profundidad de la cubierta del concreto y la concentración de cloruros requerida para iniciar el proceso de corrosión.

- **Permeabilidad (NTC 4483)**

La penetración de materiales en solución puede afectar la durabilidad del concreto, un ejemplo es cuando estas soluciones lixivian $\text{Ca}(\text{OH})_2$ o cuando se generan ataques de líquidos agresivos (Rivera L, 2011).

Esta penetración está sujeta a la permeabilidad del concreto y está ligada a la facilidad relativa con la que el concreto puede saturarse de agua, por lo tanto, la permeabilidad se asocia mucho con la vulnerabilidad del concreto

a la congelación. Además, en el caso del concreto reforzado, el acceso de la humedad y del aire trae como consecuencia la corrosión del acero de refuerzo, causando a su vez un aumento considerable del volumen del acero, posibilitando la formación de grietas y descascamientos del concreto y posibles pérdidas de adherencia entre concreto y acero (Rivera L, 2011).

La permeabilidad del concreto no solo depende de su porosidad, sino también del tamaño, la continuidad de los poros y la distribución. Para una misma relación agua/cemento, el cemento más grueso tiende a producir una pasta más porosa que la del cemento fino. La composición del cemento afecta la permeabilidad en cuanto a su influencia sobre la rapidez de hidratación, sin afectar el grado final de porosidad y permeabilidad (Rivera L, 2011).

La porosidad de los agregados, los tamaños de los poros en el agregado varían en un amplio rango, pero hasta los más pequeños son mayores que los poros del gel en la pasta de cemento. Algunos poros del agregado están totalmente inmersos dentro de la partícula, pero otros se abren a la superficie, de modo que el agua, y otros agentes agresores, pueden penetrar en ellos. El grado de porosidad de las rocas comunes varía de 0 a 50% .Teniendo en cuenta que el agregado representa aproximadamente tres cuartas partes del volumen del concreto, es claro que la calidad de la roca utilizada como agregado es un factor que podría contribuir a la porosidad total del concreto. Sin embargo, la porosidad capilar es la que generalmente influye en la durabilidad del concreto (Vélez, 2010).

La porosidad de cualquier concreto se puede clasificar en dos tipos: porosidad cerrada, donde los poros no se comunican entre ellos ni con el exterior y la porosidad abierta como aquella en la que se comunican los poros entre ellos y con el medio exterior, permitiendo la absorción y transferencia de fluidos o intercambio de sustancias disueltas. (Quintero Ortiz , Herrera , Corzo, & García, 2011). Es por esto que resulta importante conocer el comportamiento que tendrá el concreto con la adición de la arcilla expandida ya que hay discrepancias entre diferentes autores de si la arcilla posee o no porosidad cerrada.

- **Resistencia a la abrasión en seco (NTC 5147)**

“La abrasión es el desgaste producido por la acción del roce y fricción de partículas sólidas sobre la superficie del hormigón. La mayor parte de los elementos estructurales no presentan requerimientos especiales respecto del desgaste superficial, sin

embargo los pisos, pavimentos, revestimientos y algunas estructuras hidráulicas son sometidas al desgaste y en muchos casos su resistencia a la abrasión resulta fundamental para su durabilidad y/o funcionalidad” (Becker, 2013).

Algunos trabajos demuestran que la resistencia a la abrasión del hormigón puede ser mejorada a través de la utilización de algunos polímeros y/o un cuidadoso y esmerado curado. En pisos industriales, la resistencia al desgaste suele mejorarse a través del uso de endurecedores de superficie compuestos básicamente por cemento portland y arena de cuarzo (en ocasiones también se incorpora algún pigmento) que al ser aplicados adecuadamente sobre hormigones en estado fresco mejoran notablemente la resistencia superficial al desgaste del hormigón” (Becker, 2013).

Los resultados de los ensayos indican que la resistencia a abrasión está fuertemente ligada con la resistencia a compresión del concreto. Un concreto que presente una gran resistencia a compresión tiene más resistencia a abrasión que el concreto con menor resistencia a compresión. Como la resistencia a compresión depende de la relación agua-cemento y curado, una relación agua-cemento baja y el curado adecuado se hacen necesarios para la resistencia a abrasión. El tipo de agregado usado también es un gran factor de influencia sobre la resistencia a abrasión. Un agregado duro es más resistente a abrasión que un agregado más blando (Martínez Pineda, 2010).

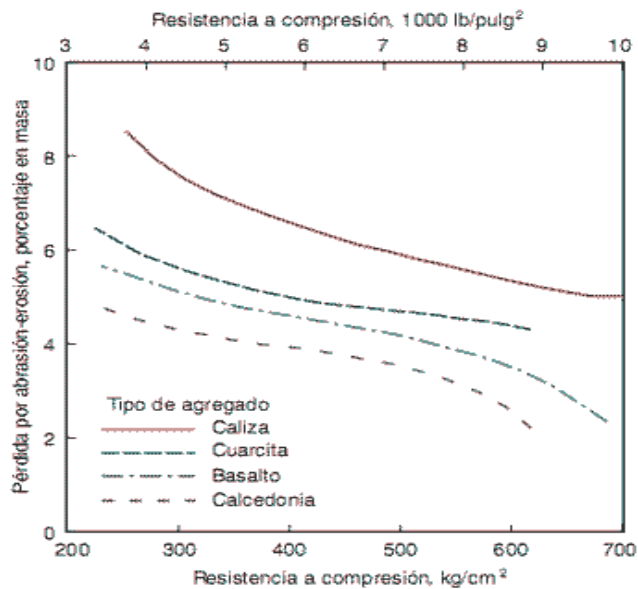


Ilustración 6. Efecto de la resistencia a compresión y del tipo de agregado sobre la resistencia a abrasión del concreto.

Tomado de ASTM C 1138

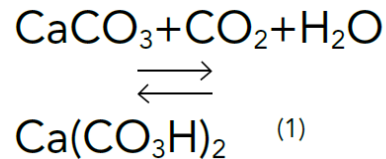
La Ilustración 6 muestra los resultados de ensayos de resistencia a abrasión en concretos con diferentes resistencias a compresión y diferentes tipos de agregados, donde se puede evidenciar que en el momento en el que se agregan agregados más resistentes en una mezcla, el efecto de la abrasión es menor.

- **Carbonatación**

La carbonatación se define como el proceso en el cual el anhídrido carbónico CO_2 existente en el aire penetra en los capilares del concreto y se combina con el hidróxido de calcio para formar carbonato de calcio. Esto provoca que la alcalinidad del concreto que originalmente tiene un valor de pH de 12 a 13 se reduzca con el paso del tiempo.

Los hidróxidos de calcio, sodio y potasio, disueltos en el componente acuoso del concreto, son los causante del elevado pH que funciona como protector del acero, y es cuando el CO_2 ingresa en el concreto produciendo una reacción entre los hidróxidos de la fase líquida intersticial y los compuestos hidratados del cemento; es decir, cuando todo el $\text{Ca}(\text{OH})_2$, $\text{Na}(\text{OH})$ y $\text{K}(\text{OH})$ presentes en los poros han sido carbonatados, el pH empieza a disminuir, dando como consecuencia un medio ácido que produce un constante y progresivo efecto corrosivo en el acero (Ingeniería y construcción, 2008).

El avance de la carbonatación hacia el interior del espécimen de concreto se produce cada vez de manera más lenta hasta detenerse. Esto es debido a que el carbonato de calcio, que es poco soluble, al continuar en un medio húmedo y con la presencia del CO₂, se descompone en bicarbonato de calcio que si es un compuesto soluble.



Al ser una reacción reversible, con la solubilidad del bicarbonato de calcio (Ca(CO₃H)₂) se producirá la precipitación del carbonato de calcio (CaCO₃) cuando el agua y el CO₂ tiendan a migrar hacia el exterior en periodos de secado. De esta manera los poros del concreto se sedimentarán con el tiempo y se detendrá el avance del frente de carbonatación (Construcción y tecnología en concreto, 2012).

Muchas investigaciones coinciden que el proceso avanza a una velocidad proporcional a la raíz cuadrada del tiempo. También, puede decirse que el proceso de carbonatación no se comporta como una función lineal. Su estimación varía con el tiempo y la profundidad. Un concreto de buena calidad resulta ser muy lento, aproximadamente 1 mm al año. Un concreto de buena calidad, sería en este caso, denso, de baja permeabilidad y que cuente con una baja relación Agua-Cemento (Construcción y tecnología e concreto, 2012).

La carbonatación se puede observar a simple vista cuando se presenta una zona descolorida en la superficie del concreto. Este fenómeno igualmente puede ser visualizado utilizando un indicador de fenolftaleína (prueba cualitativa de la fenolftaleína). Para su uso como un indicador, la fenolftaleína debe quedar disuelta con un disolvente adecuado tal como el alcohol isopropílico (isopropanol) en una solución al 1%. El ensayo consiste en aplicar el indicador a la superficie de la muestra de concreto, lo que produce una coloración rosa oscuro cuando está en presencia de un medio básico o de PH alto (Construcción y tecnología en concreto, 2012).

Considerando entonces que la coloración rosácea es un indicador de que el nivel del pH del concreto está por encima del valor estandarizado como límite (9.5), en la **¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.** puede observarse que en la parte izquierda de la fotografía no existe riesgo de carbonatación; pero en la parte derecha se muestra un concreto afectado por la carbonatación, debido a que no presentó coloración rosasea

con la aplicación de la fenolftaleína (Construcción y tecnología en concreto, 2012).



Ilustración 7. Ensayo con indicador de fenolftaleína para evaluar carbonatación en el concreto.

Tomado de Construcción y tecnología en concreto.

Con la prueba del indicador de la fenolftaleína solo se puede obtener un estimado de la profundidad que ha alcanzado la carbonatación. Para poder obtener el alcance real es preciso utilizar la microscopia óptica o bien, la microscopía eléctrica. A través del microscopio se puede reconocer el fenómeno de la carbonatación en el concreto por la aparición de cristales de calcita, y la ausencia de hidróxido de calcio, etringita y granos de cemento deshidratados. Se puede decir que la prueba de Fenolftaleína resulta muy útil como mecanismo para hacer una evaluación preliminar de la presencia de carbonatación en el concreto; es rápida, fácil de ejecutar y ampliamente utilizada en la actualidad (Construcción y tecnología en concreto, 2012).

- **Resistencia mecánica (NTC 643)**

Esta es la característica principal del concreto, la forma de expresarla es en términos de esfuerzo, generalmente en MPa. La forma de evaluar esta resistencia es mediante una prueba mecánica de compresión que consiste en aplicar una carga de compresión axial a cilindros moldeados o corazones de concreto, a una taza predeterminada, hasta que la falla ocurre; esta prueba está contemplada en la norma ASTM C 39. La fuerza compresiva del espécimen es calculada al dividir la carga máxima lograda

durante la prueba entre el área calculada del espécimen (Ramírez Brewer & Vergara Álviz, 2013).

Uno de los elementos que le brinda resistencia y durabilidad a la mezcla es la pasta de cemento, en el momento que la pasta se encuentra fraguada y endurecida en unión con los agregados, contribuye a suministrar resistencia mecánica característica a la compresión, la cual depende directamente de la interfase agregado-pasta que la mezcla forma durante este proceso; a medida que esta interfase se consolida más, el concreto a su vez mejora sus propiedades internas, contribuyendo a la durabilidad.

1.5 ESTUDIOS PREVIOS DEL USO DE ARCILLAS EXPANDIDAS COMO AGREGADO PARA CONCRETO ESTRUCTURAL

Como se ha mencionado, el concreto liviano estructural, es un material que existe hace mucho tiempo, por lo que a nivel internacional existe bastante documentación. En Colombia, al existir un déficit investigativo en este campo, es poco lo que se conoce.

Autores como Tommy Lo, W.C Tang y H.Z Cui, han investigado sobre los efectos de las propiedades de los agregados en concretos livianos mediante la utilización de arcilla expandida. Los efectos estudiados fueron: la resistencia de los agregados, la relación agua/cemento y la porosidad tanto en las zonas intersticiales, como dentro de la pasta de cemento endurecido. Para los ensayos se usaron tres diferentes relaciones de agua/cemento (0.4 - 0.44 - 0.48) y tres tamaños de arcilla diferente (5mm-15mm-25mm).

Entre los resultados más relevantes encontraron que sin importar la relación agua cemento, la zona intersticial es un factor muy importante en la resistencia del concreto, debido a que estos agregados son porosos y su absorción de agua es mayor que la de los agregados normales, esta característica hace que se presente una función de auto-curado, lo cual explica por qué la resistencia del concreto aligerado se puede mejorar aún más después de los 28 días que en el concreto convencional.

También encontraron que la resistencia del concreto liviano depende en gran medida tanto de la resistencia del agregado (arcilla expandida), como la de la pasta de cemento, así como también la unión de la pasta agregado-cemento en la zona intersticial.

Por otro lado autores como Michala Hubertová y Rudolf Hela, desarrollaron una investigación del comportamiento del concreto ligero con arcilla expandida para los

elementos de la mezcla de hormigón y prefabricados listos. El objetivo de esta investigación fue evaluar la durabilidad de este concreto expuesto a líquidos químicamente agresivos y ambientes gaseosos (altas concentraciones de sulfato, iones cloruro, gas automotriz, el petróleo y los ambientes gaseosos CO₂ y SO₂).

Se demostró que a pesar de que los agregados ligeros son menos resistentes debido a los poros que presentan, estos pueden generar una reducción de los costos de la construcción total con una resistencia de 50-60 MPa y una densidad por debajo de 1800 kg/m³ sin ser afectados por los agentes de durabilidad anteriormente mencionados.

Se han realizado investigaciones acerca de la permeabilidad de los concretos aligerados, en las cuales se defiende la idea que los agregados livianos se rodean de una capa impermeable de mortero de muy alta calidad, originada por la hidratación continuada durante el proceso de curado, causado por la liberación gradual de agua de las arcillas, similares comportamientos elásticos entre el mortero y el agregado, y por ultimo una buena adherencia entre la matriz y el agregado debido a su superficie rugosa y la acción puzolánica (Martin Gayo, 2003).

Estudios realizados en la durabilidad del concreto liviano, más específicamente acerca de carbonatación, realizados por Holm, Bremner y Vaysburd han demostrado que los concretos livianos estructurales son más resistentes a la carbonatación en comparación con los no estructurales, como se muestra en la Tabla 2 (Gastañadui Ruiz, 2014):

Tabla 2. Estimativo de tiempo en años para que la carbonatación alcance al acero de refuerzo.

Aplicaciones del concreto	Estructuras marinas expuestas, tablero de puentes.	Concretos No-estructurales y de aislamiento.
Inspección del concreto	Continua	No hubo

Calidad del concreto	Alta	Baja
Relación A/C	<0.45	>0.65
Resistencia a la compresión	>30 MPa	<20MPa
Tasa máxima de carbonatación mm/(yrs) ^{1/2}	4*	8**
Recubrimiento del concreto de 20 mm	25 años	6 años
Recubrimiento del concreto de 30 mm	56 años	14 años
Recubrimiento del concreto de 40 mm	100 años	25 años

2. METODOLOGÍA

2.1 ETAPA 1: IDENTIFICACIÓN DE VARIABLES

En la etapa inicial del proyecto se hizo una exploración en bases de datos, artículos, conferencias, memorias de seminario y demás elementos de información las cuales brindaron conocimientos para el trabajo de grado en cuestión, con el objetivo de realizar un análisis para clasificarlos según el tema obteniendo de esta manera, una base de datos con bibliografía técnica de donde se apoyó la investigación del proyecto. Se investigó sobre los siguientes temas:

1. Qué tipo de Arcillas expandidas existen, y cuales han sido los usos más relevantes en la ingeniería civil y la construcción mundial.
2. Cuáles son las normas y requisitos técnicos que deben cumplir los agregados de los concretos estructurales basando en la Norma Sismo-resistente Colombiana (NSR-10).
3. Cuáles son las normas y requisitos técnicos que dirigen el diseño y construcción de concretos estructurales livianos basados en la (NSR-10).
4. Estudios e investigaciones del uso de la arcilla expandida como agregado para concretos estructurales.
5. Sondeo de resultados de ensayos de laboratorio para determinar la durabilidad del concreto liviano estructural aligerado con arcilla expandida.

2.2 ETAPA 2: DISEÑO DE EXPERIMENTO

En estudios anteriores realizados por la empresa Conconcreto S.A, donde se evaluó únicamente la resistencia a la compresión de muestras de concreto aligeradas con arcilla expandida se encontró que la relación agua/cemento óptima para este tipo de concreto esta entre 0.40-0.45, ya que para valores mayores a estos la arcilla tiende a flotar y segregarse en la parte alta de la muestra.

Es por esto que se decidió mantener la relación agua/cemento constante para realizar los ensayos pertinentes en la evaluación de la durabilidad del concreto aligerado con arcilla expandida, además se tuvo un control en las propiedades tanto del concreto como de la arcilla, ya que una variación en estas puede impedir una adecuada comparación y así lograr que la única variable a evaluar sea el

porcentaje de arcilla presente en la muestras, ya que este porcentaje es el factor que se verificará.

Inicialmente Concreto propuso realizar únicamente 2 mezclas, la mezcla patrón y la mezcla con 100% arcilla, sin embargo se decide elaborar 3 tipos de mezclas, una mezcla patrón (concreto convencional), una mezcla con un 100% de arcilla expandida y una mezcla con el 50 % de arcilla expandida para lograr una mejor comparación y observar los efectos que puede tener la arcilla con los agregados gruesos. Las muestras estarán sometidas a las mismas condiciones durante todo el proyecto (uso del mismo material cementante, mismo tiempo y temperatura de curado, mismo agregado fino, entre otros).

2.2.1 Determinación de la cantidad de cilindros por ensayo

Se determinó la cantidad de cilindros tanto de la mezcla patrón como de las mezclas aligeradas con las arcillas expandidas para cada uno de los siguientes ensayos, basados en sus respectivas normas. También se definió la geometría de los cilindros a utilizar en cada ensayo.

Según la norma ASTM C 192 y NTC 1377 el número de especímenes a fallar mínimo es de 3 cilindros por cada mezcla realizada, sabiendo esto y con la normatividad de cada ensayo se obtuvo la matriz de experimentos.

- Resistencia a la penetración del ion-cloruro (ASTM-C1202)
- Permeabilidad (NTC 4483).
- Resistencia a la abrasión en seco (NTC 5147).
- Resistencia mecánica (NTC 643).
- Carbonatación (ASTM-D1293).

2.2.2 Elaboración y Curado de los cilindros

La elaboración de los cilindros de las 3 mezclas estuvo regida bajo los parámetros que exige la norma NTC-1377 (Elaboración y curado de especímenes de concreto para ensayos de laboratorio).

A su vez se deben determinar los tiempos de curado para los cilindros, logrando así tener ganancia progresiva de resistencia con el tiempo, llegando sin problema a la resistencia requerida donde para los ensayos de Permeabilidad ion cloruro, carbonatación, Abrasión y Permeabilidad requieren de 28 días de curado para la

realización posterior de los ensayos mientras que la resistencia a la compresión requiere unos días de curado de 7 días y 28 días (permitido por norma). Se tuvo un conocimiento en el tiempo de ejecución de los ensayos, lo cual ayudo a la realización tanto del cronograma de actividades como del presupuesto parcial. Donde la duración de permeabilidad es de 2 meses, carbonatación 3 meses, Abrasión 1 mes, y resistencia a la compresión no requiere de ninguna holgura para la realización del ensayo, es decir inmediatamente que cumpla los días de curado se deben ensayar (CONCRETO, 2012).

A pesar del cronograma establecido no se logró hacer el ensayo de abrasión, debido a problemas de disponibilidad de los equipos dispuestos por la empresa Sumicol, a su vez el ensayo de permeabilidad tuvo un retraso significativo

La resistencia que se pretende alcanzar en la mezcla de 100% arcilla es de 28 MPa (4000Psi), dejando constante la cantidad de cemento, de aditivo y la relación agua/cemento para las otras dos mezclas.

2.3 ETAPA 3: ENSAYOS DE LABORATORIO

En esta etapa del proyecto se llevaron a cabo todos los ensayos de laboratorio seleccionados en la etapa anterior, teniendo en cuenta todos los requerimientos para que las muestras estuvieran sometidas a las mismas características, para que los resultados que se obtengan en las pruebas fueran correctos.

2.4 ETAPA 4: ANÁLISIS DE RESULTADOS

En esta etapa del proyecto se analizaron los resultados obtenidos tanto de los cilindros patrones como de los cilindros aligerados con arcilla expandida haciendo una comparación entre las 3 mezclas, verificando así como afecta el la cantidad de arcilla expandida en el concreto para lograr el cumplimiento de todos los requisitos de durabilidad y de resistencia a la compresión de un concreto estructural liviano ligado a los requisitos de la NSR10. También se verifican las posibles causas de error (en caso que existan) y se procederá a sacar las conclusiones sobre este proyecto de investigación.

3. PRODUCTOS, RESULTADO Y ENTREGABLES OBTENIDOS

El agregado liviano que mejor se comporta según los requerimientos de resistencia, densidad y trabajabilidad -que especifica la ACI 213R-03- corresponde al de tipo artificial, entre los cuales la Arcilla Expandida Térmicamente (AET) es el más conocido y utilizado (Martínez Pineda, 2010).

Es por esto que el presente trabajo se enfoca en evaluar la durabilidad de un concreto estructural aligerado con arcilla expandida elaborada en Colombia por la empresa Sumicol. Los diseños de mezcla serán provistos por Concreto.

Los ensayos del proyecto se basarán en sus respectivas normas, por lo que deberán cumplir con los resultados expuestos en ellas y en la norma NSR-10. En la Tabla 3 Se muestran las cantidades de probetas de cada uno de los ensayos.

Tabla 3. Número de probetas experimentales cambiando los porcentajes de arcilla (50%,100%, 0%Patron).

Ensayos / % de arcilla	Número de Probetas		
	100%	50%	Patrón
Penetración Ion- Cloruro	3	3	3
Permeabilidad	3	3	3
Resistencia a la abrasión	3	3	3
Resistencia mecánica	6	6	6
Carbonatación	3	3	3

Según la norma ASTM C 192 y NTC 1377 el número de especímenes a fallar mínimo es de 3 cilindros por cada mezcla realizada, y en el caso de la resistencia mecánica se deben fallar 3 cilindros mínimamente a los 7 y a los 28 días, es por esto que se realizaron 6 cilindros en este ensayo.

3.1 PARÁMETROS NORMATIVOS PARA LOS ENSAYOS

3.1.1 Resistencia a la penetración del ion-cloruro (ASTM-C1202)

Los resultados cualitativos de la resistencia a la penetración ion cloruro son basados en ensayos realizados en laboratorio, los cuales son ilustrados en la Tabla 4.

Tabla 4. Penetración ion cloruro basado en la carga que pasa.

Charge Passed (coulombs)	Chloride Ion Penetrability
>4,000	High
2,000–4,000	Moderate
1,000–2,000	Low
100–1,000	Very Low
<100	Negligible

Tomado de ASTM.

3.1.2 Resistencia mecánica (NTC 643)

Para este ensayo se debe tener en cuenta para los cálculos que si la relación de longitud a diámetro de espécimen es de 1.75 o menos, se debe corregir el valor de resistencia obtenido multiplicándolo por el factor apropiado mostrado en la Tabla 5 (Norma Técnica Colombiana, 2010):

Tabla 5. Factor de corrección longitud diámetro

L/D:	1,75	1,50	1,25	1,00
Factor:	0,98	0,96	0,93	0,87
NOTA Use interpolación para determinar los factores de corrección para los valores L/D intermedios entre los valores dados en la tabla.				

Tomado de Norma Técnica Colombiana.

Adicionalmente se debe tener una precisión ensayo a ensayo para cada geometría de cilindro, tal y como se muestra en la Tabla 6.

Tabla 6. Precisión del ensayo en ensayos de cilindros de 150 mm por 300 mm y 100 mm por 200 mm.

	Coeficiente de variación ⁴	Rango aceptable ⁴ de resistencia de cilindros Individuales	
		2 cilindros	3 cilindros
150 mm por 300 mm [6 pulgadas por 12 pulgadas]			
Condiciones de laboratorio	2,4 %	6,6 %	7,8 %
Condiciones de obra	2,9 %	8,0 %	9,5 %
100 mm por 200 mm [4 pulgadas por 8 pulgadas]			
Condiciones de laboratorio	3,2 %	9,0 %	10,6 %

Tomado de Norma Técnica Colombiana.

Para el caso de estudio rige la norma para los cilindros de 100 mm por 200 mm en condiciones de laboratorio.

3.1.3 Permeabilidad (NTC- 4483)

Para la determinación de la permeabilidad, se tienen plasmados los resultados en laboratorio dados en la Tabla 7.

Tabla 7. Determinación del coeficiente de permeabilidad y profundidad de penetración.

Determinación	Unidades	Permeabilidad		
		Baja	Media	Alta
Coeficiente de Permeabilidad del Agua	m/s	$<10^{-12}$	10^{-12} a 10^{-10}	$>10^{-10}$
Profundidad de Penetración	mm	<30	30 a 60	>60

3.1.4 Resistencia a la abrasión (NTC 5147)

Este ensayo está regulado por la NTC 5147. Este ensayo mide la resistencia al desgaste de la capa de rodadura o capa superior del elemento. Consiste de un disco metálico de 7 cm de ancho el cual es colocado contra la superficie a examinar, en medio de estos se deja caer un determinado flujo de arena, que actúa como material abrasivo, de granulometría específica. El disco gira 75 veces

en 60 segundos al cabo del cual ha dejado una huella rectangular en el espécimen, el ancho de ésta no debe ser mayor de 23 mm.

Tabla 8. Abrasive charges.

Number of Balls	Nominal Size	Minimum Diameter
10	1.00 in.	25.3 mm (0.95 in.)
35	0.75 in.	19.0 mm (0.70 in.)
25	0.50 in.	12.6 mm (0.45 in.)

Tomado de ASTM C1138M-11, 2013.

3.2 CARACTERIZACIÓN DE LOS MATERIALES UTILIZADOS

3.2.1 Arcilla expandida térmicamente

AREX es la arcilla que se va utilizar en las mezclas de las muestras a trabajar (Corona , 2015). Este producto es elaborado por Corona y posee las siguientes características y propiedades:

Ventajas de AREX

- Tiene menor densidad que los agregados tradicionales.
- Aumenta la resistencia al fuego del concreto.
- No se degrada con el paso del tiempo.
- Es un material poroso, por lo que presenta una mayor absorción de humedad. Esto hace que los concretos con AREX, tengan un curado interno que ayuda a la disminución de la fisuración temprana por retracción.
- Los concretos tradicionales, tienen densidades que van desde 2200 a 2400 kg/m³; los concretos con AREX, pueden alcanzar densidades entre 1440 a 1840 kg/m³.
- Al tener menor peso por m³ que los concretos tradicionales, los concretos livianos permiten en las edificaciones, una disminución en la cantidad de acero de refuerzo, disminución del tamaño de columnas, vigas y además en fundaciones.
- Disminuye la masa de diseño para fuerzas sísmicas.
- Los concretos con AREX, presentan una baja conductividad térmica, lo que les proporciona un buen aislamiento de calor.

Presentación y almacenamiento de AREX

La arcilla viene en una presentación en bolsas de 1 m³ o granel de acuerdo con la cantidad solicitada en obra (Corona , 2015).

El almacenamiento del producto debe hacerse en el exterior, donde se tenga una superficie que impida la contaminación del material con tierra, arena (Corona , 2015).

Propiedades.

Tabla 9. Propiedades de AREX.

CARACTERÍSTICA	ENSAYO	REQUERIDO	AREX
Distribución granulométrica	ASTM C136	Curvas contenidas en ASTM C330	Cumple
Masa unitaria suelta (Densidad de arrume)	ASTM C29	<1040	Cumple
Impurezas orgánicas	ASTM C40	<3	Cumple
Terrones de arcilla y partículas sueltas	ASTM C142 ₍₂₎	<2% sobre la masa seca	Cumple
Absorción (%) a 24 h	ASTM C 127	---	<20%
Pérdidas por ignición	ASTM C114	<5%	Cumple

3.2.2 Características Arena lavada

Este material fue suministrado por la empresa industrial Conconcreto, el cual tiene un certificado de calidad ICONTEC. En donde se muestra las características en la Ilustración 8.

GRANULOMETRIA - NORMA NTC 174					
TAMIZ		Retenido (g)	Pasa Max	Pasa	Pasa Min
mm	in				
9,51	3/8"	0,0	100%	100%	100%
4,76	N° 4	0,8	100%	100%	95%
2,38	N° 8	218,6	100%	76%	80%
1,19	N° 16	192,0	85%	54%	50%
0,595	N° 30	147,5	60%	38%	25%
0,297	N° 50	159,6	30%	20%	10%
0,149	No100	111,6	10%	8%	2%
Fondo		38,1			
P. Inicial		899			
P. Final		868,2			

CARACTERÍSTICAS	
% de humedad	11,2
% de pasa 200	3,4
Módulo de finura	3,0
Color organico	1
Particulas deleznales	0,9
Solidez Na_2SO_4	4,8
Carbon o lignito	0,5
Densidad seca (kg/m^3)	2635
Densidad s.s.s. (kg/m^3)	2693
% de absorción	2,2
M.U.S. (kg/m^3)	1636
M.U.C. (kg/m^3)	1811

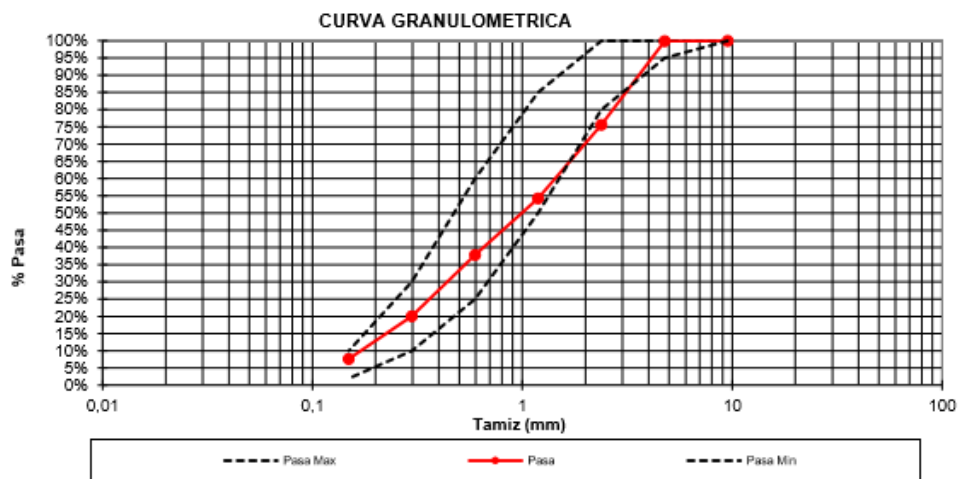


Ilustración 8. Características arena lavada.

Tomado de Conconcreto

3.2.3 Características de Triturado 1"

Este material fue suministrado por la empresa industrial Conconcreto, el cual tiene un certificado de calidad ICONTEC. En donde se muestra las características en la Ilustración 9.

GRANULOMETRIA N° 57 - NORMA NTC 174					
TAMIZ		Retenido (g)	% Pasa Max	% Pasa	% Pasa Min
mm	in				
38,1	1 1/2"	0,0	100%	100%	100%
25,4	1"	388,0	100%	97%	95%
12,7	1/2"	7558,0	60%	34%	25%
4,75	N° 4	3862,0	10%	2%	0%
2,36	N° 8	232,0	5%	0%	0%
Fondo		5,0			
P. Inicial		12098			
P. Final		12045			

CARACTERÍSTICAS	
% de pasa 200	0,4
Partículas deleznales	2,6
Solidez Na_2SO_4	2,1
Desgaste - Maquina de los angeles	30
Carbon o lignito	0,5
Densidad seca (kg/m^3)	2687
Densidad s.s.s. (kg/m^3)	2741
% de absorción	2,0
M.U.S. (kg/m^3)	1592
M.U.C. (kg/m^3)	1744

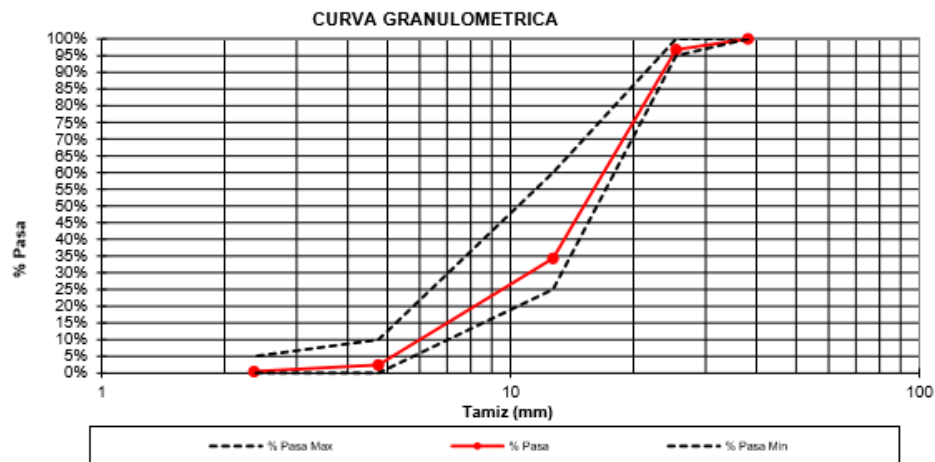


Ilustración 9. Características trituradas.

Tomado de Concreto

3.3 SECUENCIA DEL EXPERIMENTO

3.3.1 Elaboración de cilindros

Conociendo el diseño de mezclas proporcionado por Concreto se procede a iniciar la elaboración de los cilindros necesarios para llevar a cabo los experimentos.

Se debe cumplir con el siguiente paso a paso.

- **Cálculo de humedades:** se debe determinar la humedad de los materiales ya que esta influye en la dosificación de la mezcla, variando así la

proporción del material y disminuyendo la cantidad necesaria de agua (en la mayoría de los casos).

El cálculo de la humedad de los agregados finos y gruesos se estableció según la normal ASTM D 4643, tomando una muestra representativa de 1000 g (para agregados gruesos) y 200 g (para agregados finos), luego se lleva a un horno microondas durante un tiempo de 20 minutos, posteriormente se saca la muestra del horno, se halla su masa y se hace el siguiente calculo:

$$w = \left[\frac{(M_1 - M_2)}{(M_2 - M_c)} \right] \times 100$$

Donde:

w = contenido de humedad, %

M1 = masa del contenedor y espécimen mojado, g.

M2 = masa del contenedor y espécimen seco, g.

Mc = masa del contenedor, g.

- **Pesaje de materiales:** Luego de tener la humedad de los materiales y realizar las correcciones pertinentes se determina la masa total de los materiales realizando la conversión a la capacidad de la concretadora, la cual en el caso de estudio es de 0.23 m³. Esta actividad se realiza en una báscula con precisión de 0.001 g y se organizan los materiales para cada barcada específica como se muestra en Ilustración 10.



Ilustración 10. Pesaje de Materiales.

- **Realización de la mezcla:** Una vez pesados los materiales se procede a realizar la mezcla, sin embargo se cuenta con un orden específico para introducirlos en la Concretadora. En la Ilustración 11 se observa la mezcla de concreto previo a la adición del aditivo.



Ilustración 11. Conformación mezcla.

- **Asentamientos:** una vez cumplido el tiempo de mezclado se extrae una muestra representativa para la verificación de asentamientos según la norma INV E 404 – 07, la cual consiste en llenar el cono de Abraham en tres capas iguales donde a cada capa se le deben dar 25 golpes de varilla para apisonar la mezcla y sacar las burbujas de aire. Una vez lleno el cono se remueve cuidadosamente buscando el asentamiento de la mezcla, donde se mide la distancia final del concreto correspondiente al asentamiento como se muestra en Ilustración 12. En mezclas con arcilla expandida este asentamiento es de gran importancia para la

caracterización de la mezcla, ya que influye directamente en su manejabilidad.



Ilustración 12. Asentamiento mezcla cono.

- **Vaciado de cilindros y tortas:** posteriormente se procede a vaciar los cilindros y las tortas basados en la norma NTC – 1377, en la cual se llenan los cilindros en tres capas iguales, y al igual que en el cono de Abraham a cada capa se le dan 25 golpes de varilla y además golpes con un martillo de goma para compactar. Es el mismo procedimiento en las tortas para el ensayo de abrasión. En Ilustración 13 se observa las tortas y cilindros durante el proceso de vaciado.



Ilustración 13. Vaciado de cilindros y tortas.

- **Fraguado:** una vez realizados los cilindros y las tortas debidamente compactadas, vibradas y enrasados se dejan en sus respectivos moldes por un periodo de 24 horas, evitando cualquier tipo de contaminación que pueda alterarlos. Estos especímenes fueron dejados en industrial Conconcreto para evitar ser transportados innecesariamente.

- **Curado:** al pasar la etapa de fraguado (24 horas después del vaciado), se procede a introducir los especímenes en un tanque de curado donde pasarán el tiempo pertinente para cada ensayo como se observa en Ilustración 14. Curado de cilindros.



Ilustración 14. Curado de cilindros.

3.3.2 Ensayo de compresión Simple

Se realizaron los ensayos de compresión simple en una maquina universal en las instalaciones de Industrial Conconcreto, inicialmente se limpian con cuidado las caras superior e inferior de los cilindros para evitar datos erróneos del ensayo.



Ilustración 15. Falla a compresión de cilindros.

Para el ensayo de compresión, se disponen los cilindros en la maquina universal, de tal manera que quede centrado en la parte inferior. Se ajusta el instrumento de carga de tal manera que la platina superior apenas haga contacto como se muestra en la Ilustración 15. Se aplica la carga de tal manera que se produzca una deformación axial a una velocidad de 2 a 2.5% por minuto, la carga debe der de manera constante y sin impactos.



Ilustración 16. Falla típica cilindro sometido a compresión.

Según Ilustración 16, los cilindros están razonablemente bien formados en ambos extremos, debido a que es una falla tipo 1, la cual presenta fisuras atraves de los cabezales de menos de 25mm. Como era de esperarse los concretos con arcilla expandida por lo general fallan por el agregado y no por la pasta, como se aprecia en la figura.

3.3.3 Ensayo de Permeabilidad

Luego de cumplido el tiempo de curado pertinente para el ensayo, se procede a cortar los nueve cilindros de las tres diferentes mezclas de la siguiente manera:

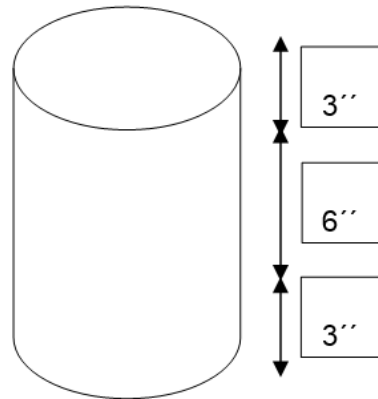


Ilustración 17. Corte de cilindros ensayo de permeabilidad.

Se debe obtener una superficie lisa, por lo que de ser necesario después del corte se deben lijar las caras superiores de los cilindros y posteriormente lavar muy cuidadosamente los cilindros para proceder con la aplicación del epóxico, el cual genera que los cilindros sean impermeables obligando el agua a atravesarlos longitudinalmente.

La sección del cilindro de 6" es la que se utiliza para la realización del ensayo de permeabilidad el cual se debe cumplir con el siguiente paso a paso:

- **Aplicación del epóxico:** La superficie longitudinal de los especímenes, así como un pequeño sector circular de la cara sobre la cual se va disponer el agua a presión, se recubren con 2 capas de pintura epóxica como se muestra en Ilustración 18, para evitar la penetración de agua por las mismas y garantiza el flujo unidireccional estable.



Ilustración 18. Cilindros con pintura epóxica.

- **Procedimiento de ensayo:** El ensayo se realiza llevando a la celda del ensayo del equipo de permeabilidad el cilindro, y aplicando sobre la cara del sector circular que se pintó alrededor con pintura epóxica una presión de aguade 0,5 MPa durante 4 días.



Ilustración 19. Muestras en equipo de permeabilidad.

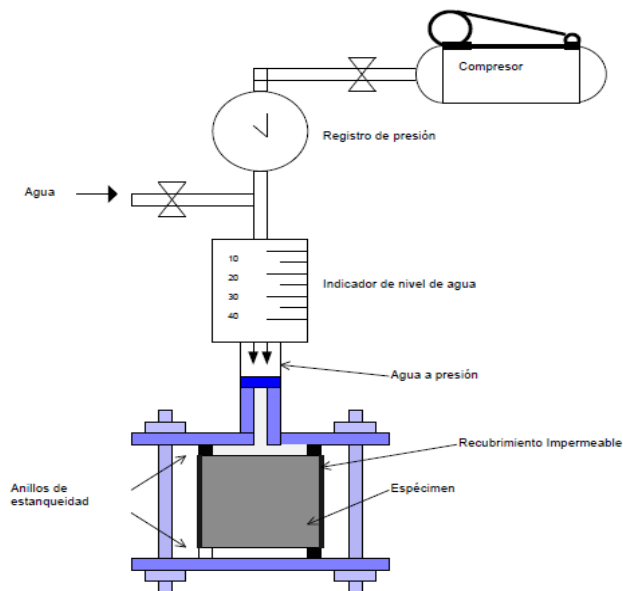


Ilustración 20. Esquema equipo de permeabilidad.

Tomado de Instituto Colombiano de Normas Técnicas y certificación.

Debido a que en ninguna de las 3 muestras paso el flujo por la cara opuesta de los cilindros, se determinó de profundidad de penetración de agua en los especímenes. Se secciona inmediatamente el espécimen perpendicularmente a la cara, según la norma NTC 722 – Tracción indirecta, sobre la cual se aplicó la presión de agua como se muestra en Ilustración 21.



Ilustración 21. Tracción indirecta.

Luego se proceda a medir cual es la profundidad de penetración en cada una de las muestras, mirando cual es la zona más profunda de cada espécimen.

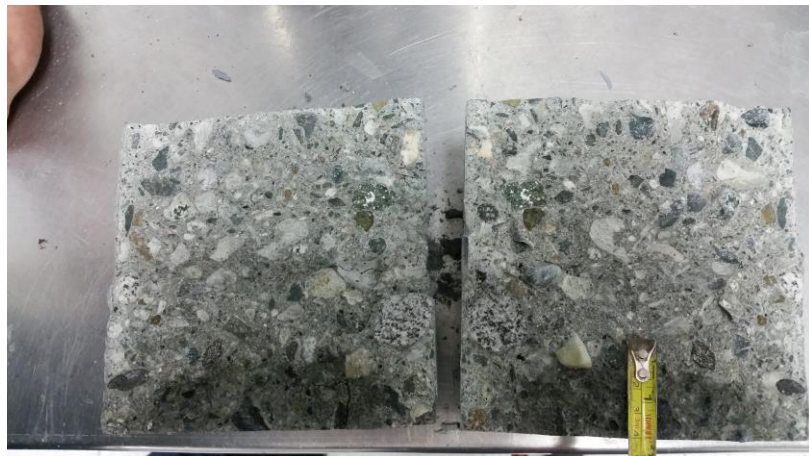


Ilustración 22. Medida de profundidad de espécimen.

- **Determinación de la profundidad de Penetración:** Una vez se ha determinado la profundidad promedio de penetración, es posible deducir el coeficiente de permeabilidad por medio de la siguiente ecuación:

$$K = \frac{D^2 v}{2Th}$$

Donde:

K= Coeficiente de Permeabilidad en m/s

D= profundidad de penetración en m

T= tiempo para penetrar la profundidad D en s

h= Cabeza de presión en m

V= Porosidad del concreto

Nota: la porosidad se determinó mediante el ensayo de absorción expuesto en el Anexo 1.

3.3.4 Ensayo de Carbonatación

Con el objetivo de acelerar el fenómeno de carbonatación en el concreto, fue necesario utilizar una “Cámara de Carbonatación”, para lograr tener en su interior un ambiente con mayor concentración de CO₂ que en el ambiente normal.

Se dejaron las probetas expuestas en la cámara con una concentración del 4% del CO₂ por un periodo de 10 días, para posteriormente medir mediante el uso de fenolftaleína la penetración de CO₂ en las muestras.

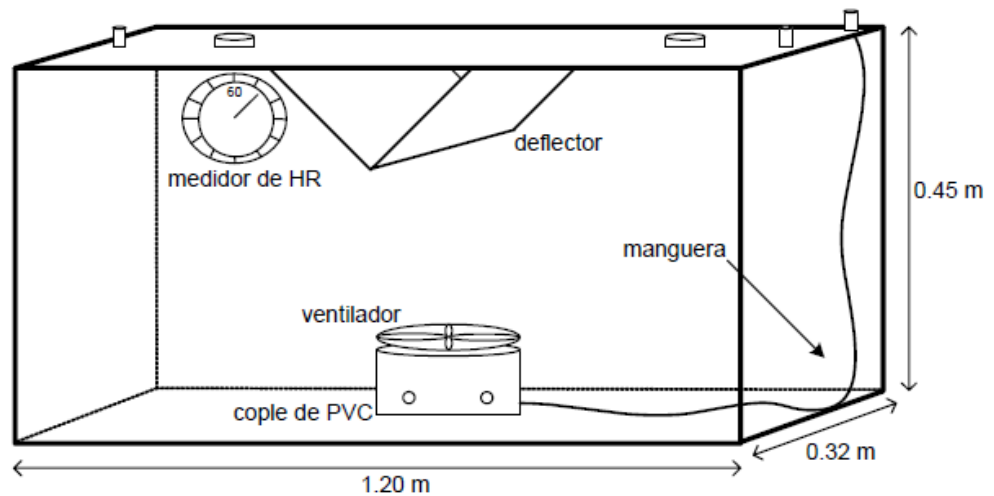


Ilustración 23. Cámara de carbonatación

Tomado de Moreno, Domínguez Lara, Cob Sarabia, & Duarte Gómez.

- **Cámara de Carbonatación:** Esta cámara, que cuenta con dimensiones de 1,22 m de largo, 0,32 m de ancho y 0,45 m de alto; tiene una forma de prisma rectangular, conformada en su mayor parte de vidrio a excepción de la tapa que es de acrílico con un espesor de 1 cm, la cual se fija en la cámara mediante una cinta selladora que evita fugas del interior de la cámara. Esta tapa cuenta con 2 orificios de 5 mm que cumplen la función de salidas de aire y 2 orificios más de 19 mm que sirven para poder insertar un medidor humedad relativa (HR) (Moreno, Domínguez Lara, Cob Sarabia, & Duarte Gómez, 2004).

3.3.5 Ensayo de Penetración Ion cloruro

La prueba de RCPT tiene como objetivo estudiar los mecanismos de transporte de los iones cloruros dentro del hormigón. En el ensayo se aplicó un potencial de 60V y se creó un flujo del ión cloruro por la matriz cementicia causando la migración de los cloruros hacia la anódica (reservorio de NaOH).

El montaje de los equipos para este ensayo se muestra en la Ilustración 24, el cual está conformado por una fuente regulada, celdas de difusión construidas en acrílico con dos reservorios, uno con una solución NaOH al 0,3 N (celda anódica) y el otro con una solución NaCl a 3% p/v (celda catódica).

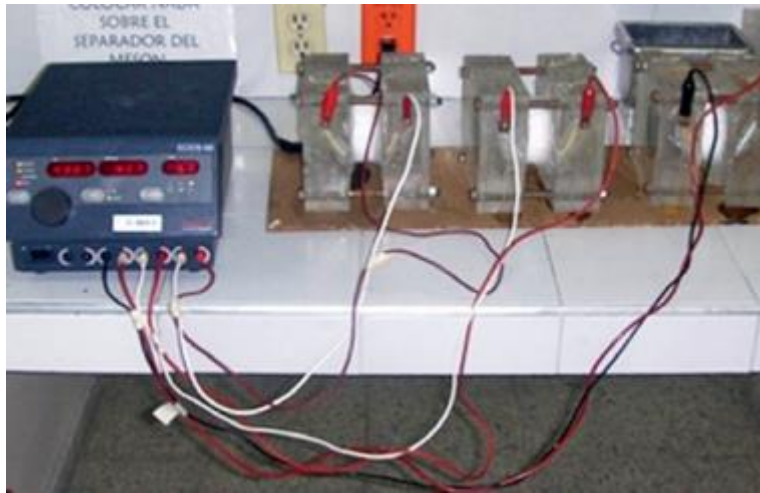


Ilustración 24. Montaje ensayo RCPT.

Para dicho ensayo, los cilindros se preparan inicialmente, dejándolos en un desecador. Se aplicó una atmosfera de vacío de presión inferior a 50 mm de Hg, por un periodo de 3 horas. Luego se agrega agua desairada al recipiente hasta cubrir los cilindros completamente. Se debe mantener el vacío por un periodo de 1 hora. Finalmente, se suspendió el sistema de vacío y se conservan las probetas por un periodo de 18 horas en el montaje.

4. DISCUSIÓN DE RESULTADOS

4.1 DENSIDAD DE LAS MEZCLAS.

Una vez realizados los cilindros de concreto con las 3 mezclas diferentes se procedió a obtener sus densidades, obteniendo los siguientes resultados:

Tabla 10. Resultado de densidades.

Mezcla	Densidad (kg/m³)	Diferencia con respecto a la mezcla patrón
100% arcilla expandida	1639,1	22,3 %
50% arcilla expandida – 50% agregado grueso	1884,5	10,7 %
patrón	2110	-

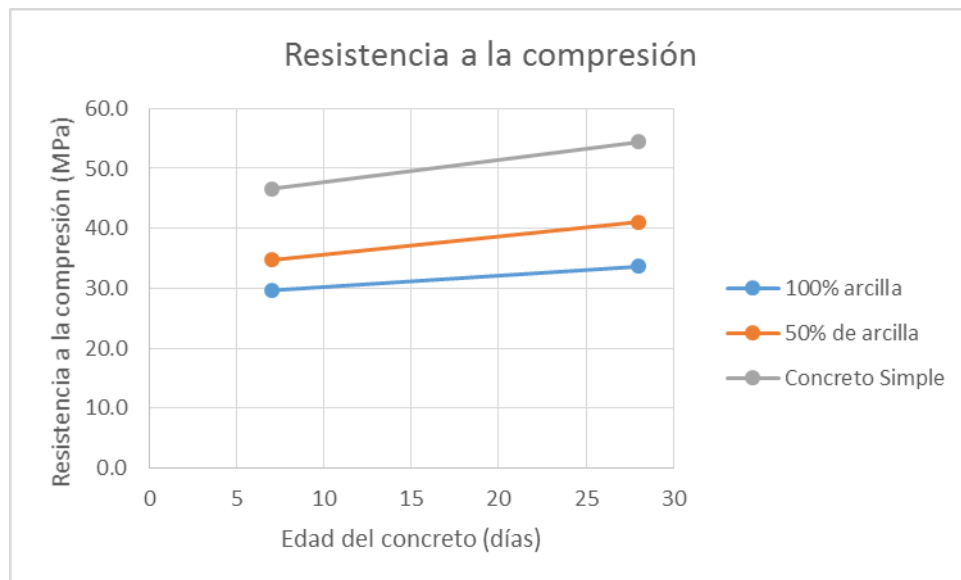
Se observa que a medida que la adición de arcilla expandida aumenta en la mezcla su peso disminuye entre un 10,7 y un 22,3 %, como era de esperarse. La mezcla con 100% arcilla expandida cumple con el rango de densidades para los cuales se considera concreto liviano según la norma NSR – 10, y la mezcla de 50% arcilla expandida se encuentra cerca de este rango. Esta disminución de peso en el concreto genera grandes beneficios para la construcción, ya que se disminuiría las dimensiones de las cimentaciones, la masa que estará expuesta a la fuerza sísmica, entre otros.

4.2 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN

Este ensayo se llevó a cabo en las instalaciones de Industrial Concreto, donde se fallaron los cilindros en una máquina universal de ensayos a los 7 y 28 días. Se utilizaron cilindros 10 cm x 20 cm por lo cual según los requerimientos de la norma NSR – 10 se deben fallar 3 cilindros para tomar un comportamiento estadísticamente aceptable.

Como se observa en la Grafica 1, se evidencia un aumento en la resistencia de las tres mezclas lo cual es común en cualquier muestra de concreto, que se va ganando resistencia con el paso del tiempo. Como era de esperarse a medida que se aumenta la cantidad de arcilla en la mezcla, la resistencia tiende a disminuir, debido a que el aporte de la arcilla en la resistencia del concreto es más bajo que

el que le brinda el agregado pétreo, sin embargo se alcanza la resistencia requerida de 28 MPa.



Grafica 1 Resistencia a la Compresión

Se muestra el incremento porcentual en la resistencia con respecto al tiempo en la Tabla 11, se puede apreciar que la mezcla que posee 50% arcilla expandida incluida es la que mayor incremento porcentual con respecto al tiempo presenta, esto puede presentarse debido a la superposición de las características que presentan estos agregados, las cuales son el curado interno que brinda la arcilla sumado a la excelente resistencia mecánica que presentan los agregados pétreos. Adicionalmente la combinación de los agregados pueden generar una mejor zona de interfase lo que ayuda en la ganancia de resistencia.

Tabla 11. Resultados de compresión.

Mezcla	Porcentaje de arcilla incluida	Resistencia 7 días (MPa)	Resistencia 28 días (MPa)	Incremento por edad (%)
100% arcilla expandida	100%	29,7	33,6	12%
50% arcilla expandida – 50% agregado grueso	50%	34,7	41,1	15%
patrón	0%	46,6	54,4	14%

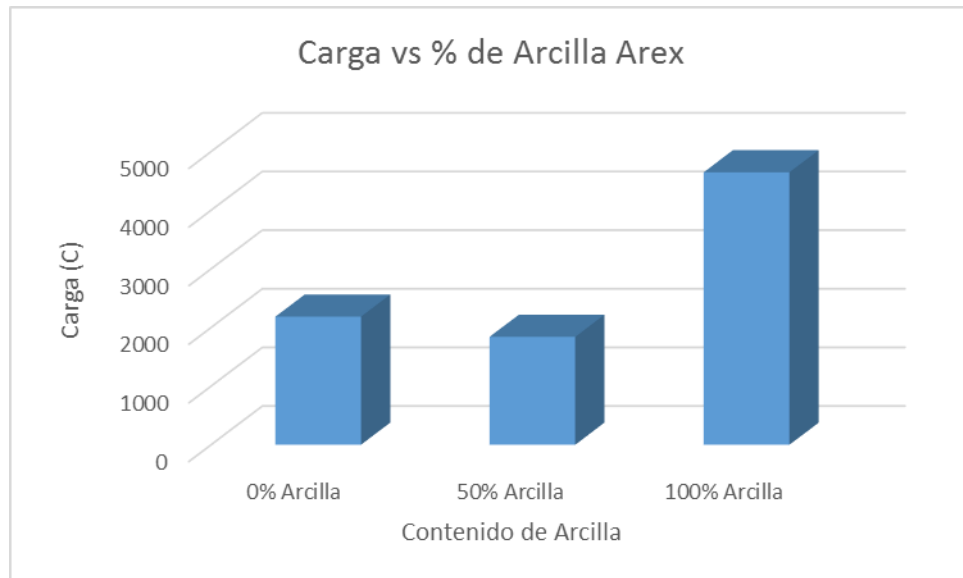
4.3 ENSAYO DE RESISTENCIA A LA PENETRACIÓN DEL IÓN CLORURO

Este ensayo permite determinar la conductancia eléctrica del concreto para proveer una rápida indicación de su resistencia a la penetración del ion cloruro, relaciona la carga pasada por el equipo con la resistencia a la permeabilidad del ion cloruro como le muestra en la Tabla 12. Los resultados que se obtuvieron se muestran en el Grafica 2.

Tabla 12. Penetración del ion cloruro basada en la carga pasada.

CARGA (C)	PENETRABILIDAD DEL ION Cl^-
>4000	Alta
2000-4000	Moderada
1000-2000	Baja
100-1000	Muy baja
<100	Despreciable

Fuente: ASTM 1202



Grafica 2. Resultados penetración ión cloruro

Luego de hacer un análisis de los resultados obtenidos, se puede ver que la probeta que contiene un 0% de arcilla tiene una penetración moderada de los iones cloruro, con un valor de 2184,9 C; por otra parte la mezcla que está

compuesta por 100% de arcilla expandida presenta una penetración alta de los iones cloruro, es decir tiene una baja resistencia a la penetración con un valor de 4648,3 C; finalmente la mezcla que presentó los resultados más favorables fue la compuesta por 50% arcilla expandida y 50% con agregado de peso normal, debido a que obtuvo una penetrabilidad baja de los iones cloruro con un valor de 1840,7 C en la Ilustración 25 se pueden ver los especímenes de cada muestra después de someterse al ensayo de penetración del lón cloruro.



Ilustración 25. Muestra 1 (100%); Muestra 2 (50%); Muestra 3 (0%).

El comportamiento en la muestra de 50% de arcilla, puede deberse al empaquetamiento generado por los agregados pétreos y la arcilla expandida, debido que al mezclar los 2 tipos de agregados se puede generar una reducción en la tortuosidad interna del concreto.

4.4 ENSAYO DE PERMEABILIDAD

Luego de obtener la medida de penetración de agua se dispone a calcular la permeabilidad de los 3 cilindros basados en la siguiente formula:

$$K = \frac{D^2 v}{2Th}$$

Los resultados obtenidos del ensayo se presentan a continuación en la Tabla 13.

Tabla 13. Resultados de permeabilidad.

Contenido De Arcilla	D (m)	t (s)	h (m)	V	K (m/s)
0%	0,0375	345600	51	0,071	$2,82 \times 10^{-12}$
50%	0,1275	345600	51	0,088	$4,06 \times 10^{-11}$
100%	0,1435	345600	51	0,121	7.04×10^{-11}

Se puede observar que el la mezcla con más baja permeabilidad presentada es la que posee, como era de esperarse fue la mezcla 0% arcilla y la más permeable de todas la de 100%. Esto puede deberse a la naturaleza porosa de la arcilla expandida térmicamente de Sumicol y a la presencia de interacciones entre dichos poros, ya que la afectación de la permeabilidad se rige no por la presencia de poros sino por la interconectividad que estos presenten. A continuación se muestran las profundidades de penetración del agua en los cilindros:

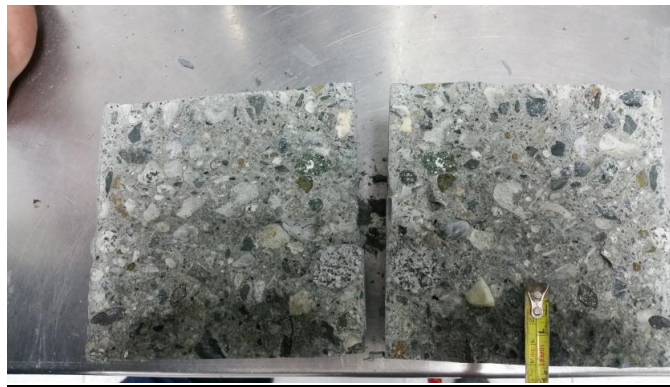


Ilustración 26. Medida cilindro (9) 0% arcilla.

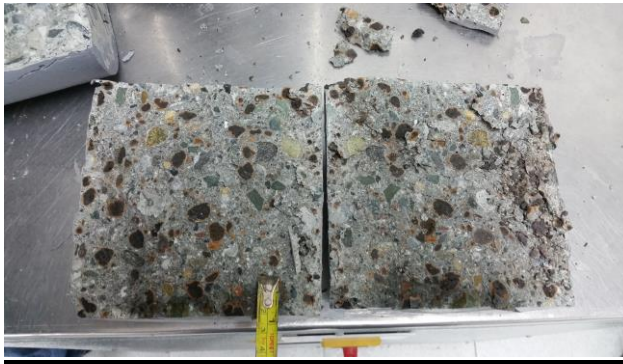


Ilustración 27. Cilindro (4) 50 arcilla 50% agregado grueso.

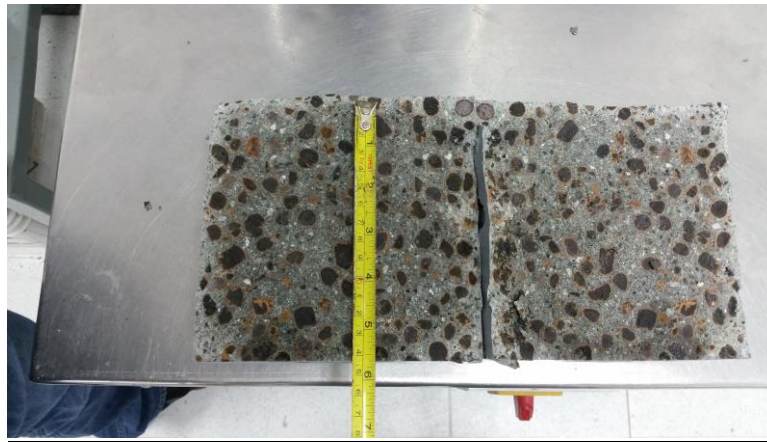


Ilustración 28 Cilindro (8) 100% arcilla

4.5 ENSAYO DE CARBONATACIÓN

Luego que los cilindros estuvieron sometidos a 10 días en la cámara de carbonatación, con un porcentaje de CO_2 de 4%, estos no mostraron ninguna penetración de la carbonatación ya que se puede apreciar que la fenoftaleína no

reaccionó por lo que la muestra se ve totalmente violeta. Los 3 cilindros mostraron las mismas características mostradas en Ilustración 29.

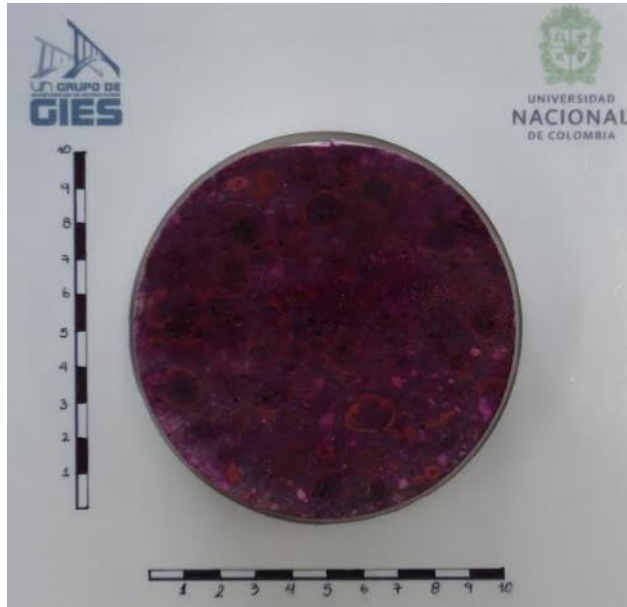


Ilustración 29. Cilindro después de cámara de carbonatación

Para este ensayo los resultados se ven influenciados por la relación agua/cemento y la cantidad de cemento que presente la mezcla, en el caso de estudio las muestras realizadas presentaban relaciones agua/cemento de 0,45, la cual es una relación relativamente baja, y cantidades considerables de cemento (entre 320 – 440 kg por m^3) lo que las convierte en mezclas resistentes a la carbonatación. Se recomienda dejar los cilindros por 20 días más con una concentración mayor de CO_2 (al 8%), para verificar si presenta alguna penetración.

5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

PRODUCTO ESPERADO	INDICADOR DE CUMPLIMIENTO	OBSERVACIONES	ENTREGABLE
Observar cómo afecta la adición de arcilla expandida térmicamente de Sumicol la durabilidad de los concretos, mediante ensayos de resistencia a la compresión, penetración ion cloruro, permeabilidad, carbonatación y abrasión. Se espera que el concreto pueda utilizarse como concreto estructural	No se cuenta con un indicador en cuanto a dichas características de durabilidad, se espera a observar las diferentes consecuencias que pueda tener la adición de arcilla expandida a la mezcla de concreto.	No se logró hacer el ensayo de abrasión el cual estaba estipulado en la programación del proyecto. En ensayos como permeabilidad ion cloruro y permeabilidad, la presencia de mayor % de arcilla afectaba negativamente el comportamiento del concreto, sin embargo este concreto puede ser utilizado en edificaciones donde exposiciones a este tipo de ambientes es muy reducida.	Informe final, análisis de resultados, anexos y recomendaciones.

- El uso de arcilla expandida térmicamente en la composición del concreto permite aligerar el concreto, presentando una densidad de equilibrio de 1884 kg/m^3 , valor que se encuentra muy por debajo a los concretos de peso normal, lo que genera disminuciones entre el 18 y 25% del peso.
- En los concretos estudiados se encontró que las resistencias a la compresión a los 28 días eran de 34 y 42 MPa para una relación agua/cemento de 0,45, mezclas de 100 y 50% arcilla respectivamente. Estos valores son muy superiores a los mínimos requeridos por la norma NSR – 10 para clasificarlo como concreto estructural (17MPa).
- La resistencia a la penetración de iones cloruro en los concretos está determinada principalmente por el incremento en la tortuosidad de los poros presentes en la mezcla, los poros que deja la interacción de los agregados tanto livianos como de peso normal son los que más afectan dicha resistencia, en comparación con los poros dejados por la pasta de cemento. Con los resultados obtenidos podemos resaltar que al mezclar los dos tipos

de agregados (liviano y de peso normal) podemos disminuir considerablemente los poros creados por los agregados, debido a que presentan diferente geometría generando un mejor acople entre ellos y logrando una mayor reducción de los poros.

- Este problema creado por los poros de los agregados, se podría evitar mejorando la calidad de la pasta del concreto, debido a que con esta se puede lograr una mejor zona de interfase, ya que se crea una capa exterior más densa, actuando como una barrera eficaz a la penetración de iones cloruro.
- La arcilla expandida cuenta con una característica de liberación gradual de agua internamente en la mezcla, generando así una mayor hidratación en la pasta, logrando una mayor dureza en comparación con el hormigón normal. Investigaciones demostraron que los concretos livianos pueden tener una mejor resistencia a la abrasión que los concretos normales, pero cuando se erosiona la primera capa de la pasta y la abrasión ataca a los áridos livianos se presenta más baja resistencia a la abrasión que los concretos normales (Martínez Pineda, 2010).
- Utilizando arcilla expandida en los concretos se pueden obtener resistencias que permitan utilizarlo como concreto estructural, sin embargo como se evidenció en los resultados, a medida que se aumenta el contenido de arcilla se deberá utilizar una mayor cantidad de cemento o un concreto con mejores especificaciones.
- La influencia del curado gradual interno que tiene la arcilla expandida en la mezcla de concreto no fue posible evidenciarla en este ensayo, debido a que los cilindros fueron completamente saturados con agua y cal durante los 28 días de curado, por tal motivo no se evidencio un aumento en la resistencia en las mezclas que contenían arcilla expandida. La característica de curado interno de la arcilla se puede evidenciar en los concretos puestos en obra, dado que estos concretos no tienen el mismo curado que los cilindros en laboratorio.
- La acción de la carbonatación en concretos con arcilla expandida se puede reducir usando mayores cantidades de cemento y menores relaciones agua cemento, inferiores al 0.5. ya que así suprimimos la característica porosa de la arcilla, generando una pasta protectora más eficaz que impide el contacto inicial entre la arcilla y el CO_2 .
- Basados en los resultados obtenidos, el uso de concreto aligerado puede ser utilizado en cualquier tipo de estructura, teniendo en cuenta las posibles consideraciones o precauciones que se debe tener a la hora de usarlo. Hay que tener en cuenta que en lugares donde la estructura estará expuesta a

ataques de ion cloruro como en lugares marítimos, se debe utilizar materiales como el metacaolin en la mezcla, para mejorar las características de esta y no se afecte por estos ataques. En estructuras como presas o contenedores de agua, se debe utilizar herramientas como los impermeabilizantes en la capa superficial del concreto, para mejorar la permeabilidad de este.

BIBLIOGRAFÍA

- American Concrete Institute. (2001). *Guía para la Durabilidad del Hormigón*. Michigan: ACI.
- Asociación Argentina Del Hormigón Elaborado. (2004). *Hormigón Elaborado. HORMIGONAR*, 1-77.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). *NSR-10 – Capítulo H*. Ministerio de ambiente, vivienda y desarrollo territorial.
- Asociación Colombiana de Ingeniería Sísmica. (2010). *Reglamento Colombiano de Construcción Sismo Resistente*. Bogotá: GRAMA.
- ASTM International. (2015). *Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration C 1202-12*. USA: ASTM International.
- Becker, E. (2013). *Comportamiento del Hormigón Estructural Durante su Vida de Servicio*. Buenos Aires: LOMA NEGRA C.I.A.S.A.
- Bonet, G., Bottero, C., & Fontana, M. (s.f.). *Estructuras materiales compuestos: procesos de fabricación*. Recuperado el 08 de Junio de 2015, de <http://www.aero.ing.unlp.edu.ar/catedras/archivos/Clase%20%20-%20Procesos%20de%20fabricacion.pdf>
- Bueno Quintero, D. C. (2015). *Comparación de Cuantías de Materiales de Construcción Para Estructuras Aporticadas y de Sistema Combinado en Concreto Convencional vs. Concreto Liviano de Acuerdo*. Maestría en Ingeniería Civil, Escuela Colombiana de Ingeniería Julio Garavito, 10 de agosto de 2015, Bogota. Recuperado el 23 de Mayo de 2016.
- Buezo, M. C. (2003). *NTP 641: Fibras minerales artificiales y otras fibras diferentes del amianto*. España: Instituto nacional de seguridad e higiene.
- Cadena, C., & Bula Silvera, A. (2002). Estudio de la variación en la conductividad térmica de la cascarilla de arroz aglomerada con fibras vegetales. *Ingeniería & Desarrollo*, 8-9.
- Cámara de Comercio de Medellín. (2011). *Empresas sólidas, base de crecimiento sostenible*. Medellín.
- Castro Herazo, C., & Palencia Penagos, A. (2006). *Evaluación dla influencia de diferentes condiciones de tratamientos superficiales sobre el comportamiento de fibras de fique*. Medellín: Universidad Pontificia Bolivariana.

- Cervantes , A. (23 de Octubre de 2008). NUEVAS TECNOLOGÍAS EN CONCRETOS, CONCRETO CELULAR-CONCRETO REFORZADO CON FIBRA-CONCRETO LIGERO ESTRUCTURAL. CONGRESO NACIONAL DE ADMINISTRACIÓN Y TECNOLOGÍA PARA LA ARQUITECTURA, INGENIERÍA Y DISEÑO, págs. 141-162.
- CONCONCRETO. (2012). *Arcilla Expandida Para Concretos AREX*. Ficha Tecnica, Escuela De Ingenieria De Antioquia, Ingeniería Civil, Medellin.
- Constaín Van-Reck, C. (Noviembre de 1999). Tecnología del concreto premezclado. *Construcción y Tecnología*.
- Corona . (2015). *Arcilla Expandida Para Concretos*. Catalogo Corona, Innovación, Medellin.
- Estupiñán Durán, H. A., Peña Ballesteros, D. Y., Vásquez Quintero, C., & Mejía Chaparro, E. F. (2008). *Método electroquímico para evaluar el efecto de la contaminación por Co2 sobre el deterioro de estructuras de concreto reforzado en la costa del pacífico colombi*. Universidad Industrial de Santander , Santander.
- Galán García , I. (2011). *Carbonatación del hormigón: combinación de CO2 con las fases hidratadas del cemento y frente de cambio de pH*. TESIS DOCTORAL, UNIVERSIDAD COMPLUTENSE DE MADRID, FACULTAD DE CIENCIAS QUÍMICAS , Madrid.
- IPIAC-NERY. (Octubre de 2011). *Arcilla Expandida*. Recuperado el 4 de Agosto de 2015, de IPIAC: http://www.ipiac-nery.com/pdf/Arcilla%20Expandida_espanhol.pdf
- Lanza Fernández , V. D. (2012). *ESTUDIO DE LA REACTIVIDAD ÁLCALI-SÍLICE ORIGINADA POR COMPONENTES REACTIVOS MINORITARIOS*. TESIS DOCTORAL, UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE MADRID, Madrid.
- LATERLITE soluciones ligeras y aislantes. (2013). *Arcilla Expandida y Pre-Mezclados*. Cataluña: S.F.
- León Moncada, C., & Oróstegui Olarte, S. A. (2009). *DETERMINACIÓN DEL COEFICIENTE DE DIFUSIÓN APARENTE DEL IÓN CLORURO EN CONCRETO EXPUESTO A AMBIENTES CON CLORUROS*. Trabajo de Grado, ESCUELA DE INGENIERÍA QUÍMICA UNIVERSIDAD DE SANTANDER , Bucaramanga.
- Lotus Cars. (s.f.). *Lotus Eco Elise*. Recuperado el 08 de Junio de 2015, de <http://www.lotuscars.com/engineering/eco-elise>
- Mallick, P. (2007). *Fiber-Reinforced Composites: Materials, Manufacturing and Design*. Boca Raton: CRC Press.
- Mallick, R. B., Radzicki, M. J., Zaumanis, M., & Frank, R. (24 de Febrero de 2014). Use of system dynamics for proper conservation and recycling of aggregates for

sustainable road construction. *Resources, Conservation and Recycling* , págs. 61-73.

Martínez Pineda, D. R. (2010). *CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL CON ARCILLA EXPANDIDA TERMICAMENTE EXTRAÍDA DE CANTERAS LOCALIZADAS EN EL SUR DE LA SABANA DE BOGOTÁ*. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá.

Medina, J. (2013). *EL PROBLEMA SÍSMICO Y LA ARQUITECTURA SISMORRESISTENTE*. Universidad de los Andes, Venezuela, Facultad de Arquitectura y Diseño. Quito: ULA.

Mesa Mejía, A. M. (6 de Agosto de 2015). Utilización Arcilla expandida en concreto . (M. Mejía Noreña, & S. Zuluaga Gutiérrez, Entrevistadores)

Ministerio de Hacienda. (2011). *Portal de Transparencia Económica*. Recuperado el 08 de 02 de 2015, de Ejecución Presupuestal: www.pte.gov.co

Moreno, E., Domínguez Lara, G., Cob Sarabia, E., & Duarte Gómez, F. (2004). *Efecto de la relación agua/cemento en la velocidad de carbonatación del concreto utilizando una cámara de aceleración*.

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. (2007). *DURABILIDAD DE ESTRUCTURAS DE CONCRETO NTC 5551*. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).

NORMA TÉCNICA COLOMBIANA. (2010). *Concretos. Ensayo de Resistencia a la Compresión de Especímenes Cilíndricos de Concreto NTC 643*. Bogotá: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación (ICONTEC).

Osorio, J. D. (12 de Junio de 2012). CARBONATACIÓN DEL CONCRETO: ¿CÓMO DETECTARLA? *BLOG 360° EN CONCRETO ARGOS* .

Quintero Ortiz , L. A., Herrera , J., Corzo, L., & García, J. (2011). *RELACIÓN ENTRE LA RESISTENCIA A LA COMPRESIÓN Y LA POROSIDAD DEL CONCRETO EVALUADA A PARTIR DE PARÁMETROS ULTRASÓNICOS*. Universidad Industrial de Santander. Bucaramanga: Revista ION.

Ramírez Brewer, D. E., & Vergara Álviz, M. F. (2013). *EVALUACIÓN DE LA RESISTENCIA MECÁNICA DEL CONCRETO MODIFICADO CON RESIDUO DE GRANALLA DE SILICATO DE ALUMINIO*. Tesis de grado, UNIVERSIDAD DE CARTAGENA, INGENIERÍA QUÍMICA, Cartagena De Indias.

Reuters. (3 de Marzo de 2014). PricewaterhouseCoopers: Crecimiento del sector construcción superará el PIB mundial en diez años. *América Economía*.

Rivera L, G. (2011). *Concreto Simple-Durabilidad Del Concreto*. Bogotá.

- Rivera, G. (7 de Abril de 2005). Durabilidad del concreto. *Concreto simple*, págs. 155-168.
- Roca Ramón, X., & Casals Casanova, M. (2005). *Estudio de la aplicabilidad de materiales compuestos avanzados en la construcción de edificios industriales*. Barcelona: Escola Técnica Superior d' Enginyers de Camins, Canals i Ports de Barcelona.
- Rodríguez Loaiza, S. S. (2014). *INCIDENCIA DE LA ARCILLA EXPANDIDA TÉRMICAMENTE EN LOS PROCESOS DE CORROSIÓN DEL ACERO DE REFUERZO DEL CONCRETO LIVIANO ESTRUCTURAL*. MAESTRÍA EN INGENIERÍA - ESTRUCTURAS, UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, FACULTAD DE INGENIERÍA, Bogotá.
- SCHMIDT, H. (1970). *La producción y utilización de granulos de arcilla expandida en la literatura del ramo* (Vol. 21). Madrid , España : Creative Commons 3.0.
- Shah, D. U., Schubel, P. J., & Mike, C. J. (2012). Can flax replace E-glass in structural composites? A small wind turbine blade case study. *ELSEVIER*.
- Silva Correal, J. D. (2014). *PROPUESTA METODOLÓGICA PARA LA DETERMINACIÓN EXPERIMENTAL DE LA REACCIÓN ALCALI-SILICE EN AGREGADOS DE ARCILLA TÉRMICAMENTE EXPANDIDA POR MEDIO DE UN NUEVO ENSAYO DE ELECTRO-MIGRACIÓN*. TESIS DE MAESTRIA EN INGENIERIA , UNIVERSIDAD NACIONAL DE COLOMBIA, INGENIERÍA CIVIL Y AGRICOLA, BOGOTA.
- Vélez, L. M. (2010). *Permeabilidad y Porosidad en Concreto*. INSTITUTO TECNOLÓGICO METROPOLITANO. REVISTA TECNOLÓGICAS.

ANEXO 1. ENSAYO DE ABSORCIÓN

El ensayo de absorción va de la mano con el ensayo de permeabilidad, para la realización de este ensayo se corta los cilindros en 3 partes como se muestra en Ilustración 30.

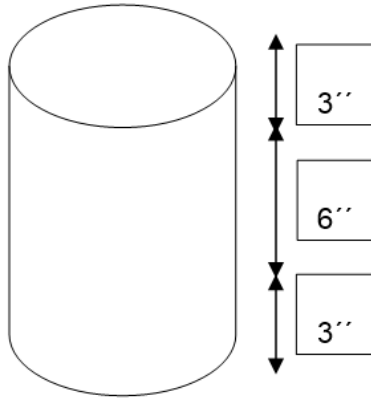


Ilustración 30. Corte de cilindros ensayo de absorción

De donde los cilindros de 3 pulgadas son los cuales se utilizan para realizar el ensayo de absorción y el cilindro de 6 pulgadas se somete al ensayo de permeabilidad.

1. Se determina la masa inicial de los cilindros. Se procede a calentar los cilindros en un horno a una temperatura de 100°C por un tiempo de 24 horas. Se procede a pesar los cilindros nuevamente. Se debe repetir este proceso hasta que el peso de los cilindros no cambie en un 0.5% con respecto al último peso tomado.



Ilustración 31 Horno 100°C para calentamiento de cilindros.

2. Luego de obtener el peso de los cilindros, se dejan reposar hasta que alcancen una temperatura ambiente. Se procede a sumergir los cilindros en agua a 21°C aproximadamente por no menos de 48 horas como se muestra en Ilustración 32. se procede a secar las muestras y a obtener el peso saturado.



Ilustración 32. Cilindros sumergidos en agua

3. Luego se ponen los cilindros en un recipiente para disponerlos a hervir por 5 horas como se muestra en la Ilustración 33 (los cilindros deben estar completamente saturados). Luego de las 5 horas se dejan reposar por no menos de 14 horas, con pérdida natural de temperatura.



Ilustración 33. Calentamiento de cilindros

4. Se finaliza tomando la masa aparente de los especímenes como se muestra en Ilustración 34.



Ilustración 34. Peso específico

Una vez realizado el ensayo, se obtuvieron los resultados mostrados en la Tabla 14.

Tabla 14. Resultados de absorción

Porcentaje de arcilla	Despues Inmersion	Despues Inmersion y hervir	Seca	Inmersa	Inmersa y hervida	porosidad %		Promedio
	Absorción %	Absorción %	Densidad aparente	Densidad aparente	Densidad aparente	apparent density	Volumen de poros	
0%	5.071	5.103	1.358	1.427	1.428	1.460	6.93%	6.77%
	4.572	4.604	1.434	1.500	1.500	1.536	6.60%	
	5.401	5.504	1.436	1.514	1.515	1.560	7.91%	
0%	4.765	4.802	1.378	1.444	1.445	1.476	6.62%	7.26%
	5.185	5.218	1.428	1.502	1.502	1.543	7.45%	
0%	5.239	5.305	1.367	1.438	1.439	1.473	7.25%	7.35%
	6.913	7.092	1.340	1.433	1.435	1.481	9.51%	
50%	6.506	6.544	1.295	1.379	1.380	1.415	8.48%	8.99%
	6.631	6.554	1.273	1.357	1.356	1.389	8.34%	
	6.755	6.862	1.339	1.429	1.431	1.474	9.19%	
50%	6.396	6.435	1.312	1.396	1.396	1.433	8.44%	8.61%
	6.845	6.501	1.351	1.444	1.439	1.482	8.79%	
	9.778	9.911	1.191	1.308	1.309	1.351	11.81%	
100%	10.239	10.239	1.187	1.309	1.309	1.352	12.16%	11.98%
	9.995	10.134	1.156	1.271	1.273	1.309	11.71%	
100%	10.313	10.357	1.197	1.320	1.321	1.366	12.39%	12.05%
	9.309	9.019	1.248	1.365	1.361	1.407	11.26%	
	10.197	10.567	1.229	1.354	1.359	1.412	12.99%	

Se puede observar que las mezclas que presentan una mayor cantidad de arcilla expandida en su composición, tienden a tener una mayor absorción, es decir una mayor porosidad. Esto puede deberse a que la arcilla expandida es un material poroso.

FORME DE ENSAYO
SISTENCIA A LA PENETRACIÓN DE IONES DE CLORURO

COMPANIA:	CONSTRUCTORA CONCONCRETO S.A.		
UBICACIÓN:	Itagüí, Colombia	PLANTA:	---
DIRECCIÓN:	Carrera 43 A N° 18 Sur 135	UBICACIÓN:	---
CONTACTO:	Ing. Laura Lopera	DIRECCIÓN:	---
TELEFONO:	3755200 Ext: 5531	TELEFONO:	---

MUESTRA:	Probeta de concreto	PROCEDENCIA:	Constructora Conconcreto S.A.
DESCRIPCION:	Muestra # 1 Concreto con 100% arex		

FECHA DE RECEPCIÓN	2016-06-02	FECHA DE RESULTADO	2016-08-10
--------------------	-------------------	--------------------	-------------------

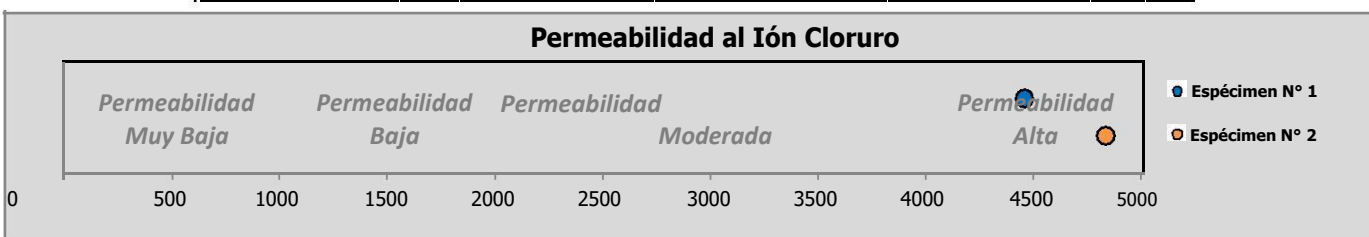
ORDEN DE TRABAJO	14785	INFORME N°	598-16
------------------	--------------	------------	---------------

Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration. ASTM C 1202-12

LABORATORIO DEL CONCRETO			
---------------------------------	--	--	--

TEMPERATURA °C	23.0	HUMEDAD %	48
----------------	-------------	-----------	-----------

	Espécimen N° 1	Espécimen N° 2
EDAD (Días)	---	---
FECHA DE ENSAYO	2016-08-04	2016-08-04
DIAMETRO ESPÉCIMEN (mm)	103.0	102.8
CARGA ELÉCTRICA (Coulombs)	5243.6	5662.7
CARGA ELÉCTRICA CORREGIDA (Coulombs)	4460.7	4836.0
CARGA ELÉCTRICA CORREGIDA PROMEDIO (Coulombs)	4648.3	



OBSERVACIONES:	Se evidencia calcinación en los especímenes. Se anexa registro fotográfico
----------------	---

Sede Principal:
 Calle 103 No. 15-80
 PBX: (571) 618 0018
 PBX: (571) 756 0990

Laboratorio del Concreto:
 Calle 79B No. 51-45
 PBX: (571) 610 0797
 PBX: (571) 547 1700

Bogotá D.C., Colombia

www.asocreto.co

FORME DE ENSAYO SISTENCIA A LA PENETRACIÓN DE IONES DE CLORURO

COMPANIA:	CONSTRUCTORA CONCONCRETO S.A.		
UBICACIÓN:	Itagüí, Colombia	PLANTA:	---
DIRECCIÓN:	Carrera 43 A N° 18 Sur 135	UBICACIÓN:	---
CONTACTO:	Ing. Laura Lopera	DIRECCIÓN:	---
TELEFONO:	3755200 Ext: 5531	TELEFONO:	---

MUESTRA:	Probeta de concreto	PROCEDENCIA:	Constructora Conconcreto S.A.
DESCRIPCION:	Muestra # 2 Concreto con 50% arex		

FECHA DE RECEPCIÓN	2016-06-02	FECHA DE RESULTADO	2016-08-10
--------------------	------------	--------------------	------------

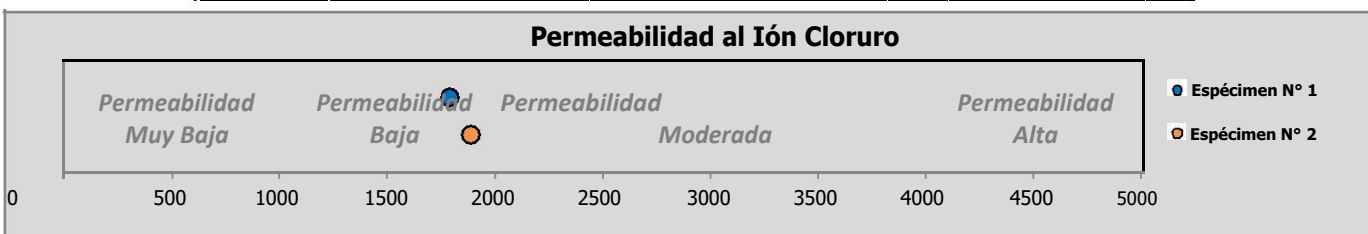
ORDEN DE TRABAJO	14785	INFORME N°	598-16
------------------	-------	------------	--------

Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration. ASTM C 1202-12

LABORATORIO DEL CONCRETO			
--------------------------	--	--	--

TEMPERATURA °C	23.0	HUMEDAD %	48
----------------	------	-----------	----

	Espécimen N° 1	Espécimen N° 2
EDAD (Días)	---	---
FECHA DE ENSAYO	2016-08-04	2016-08-04
DIAMETRO ESPÉCIMEN (mm)	101	101.1
CARGA ELÉCTRICA (Coulombs)	2025.6	2139.8
CARGA ELÉCTRICA CORREGIDA (Coulombs)	1792.1	1889.4
CARGA ELÉCTRICA CORREGIDA PROMEDIO (Coulombs)	1840.7	



OBSERVACIONES: **Aún teniendo una permeabilidad baja, se evidencia un inicio de calcinación en los especímenes. Se anexa registro fotográfico.**

FOR 012-080- VERSIÓN 00 - 2015-09-14

Sede Principal:
Calle 103 No. 15-80
PBX: (571) 618 0018
PBX: (571) 756 0990

Laboratorio del Concreto:
Calle 79B No. 51-45
PBX: (571) 610 0797
PBX: (571) 547 1700

Bogotá D.C., Colombia

Revisó: _____ Aprobó: _____
Coordinador de Calidad Coordinador de Laboratorio

Los resultados emitidos en este informe corresponden a las muestras entregadas al Laboratorio del Concreto. El informe no puede ser utilizado en ningún tipo de campaña de información, técnica o comercial. Prohibida su reproducción.

NotiConcreto

Instituto del Concreto

Laboratorio del Concreto

Biblioteca del Concreto

Reunión del Concreto

Premios Excelencia en Concreto

www.asoconcreto.co

FORME DE ENSAYO SISTENCIA A LA PENETRACIÓN DE IONES DE CLORURO

COMPANIA:	CONSTRUCTORA CONCONCRETO S.A.		
UBICACIÓN:	Itagüí, Colombia	PLANTA:	---
DIRECCIÓN:	Carrera 43 A N° 18 Sur 135	UBICACIÓN:	---
CONTACTO:	Ing. Laura Lopera	DIRECCIÓN:	---
TELEFONO:	3755200 Ext: 5531	TELEFONO:	---

MUESTRA:	Probeta de concreto	PROCEDENCIA:	Constructora Conconcreto S.A.
DESCRIPCION:	Muestra # 3 Concreto 0% Arex		

FECHA DE RECEPCIÓN	2016-06-02	FECHA DE RESULTADO	2016-08-10
--------------------	------------	--------------------	------------

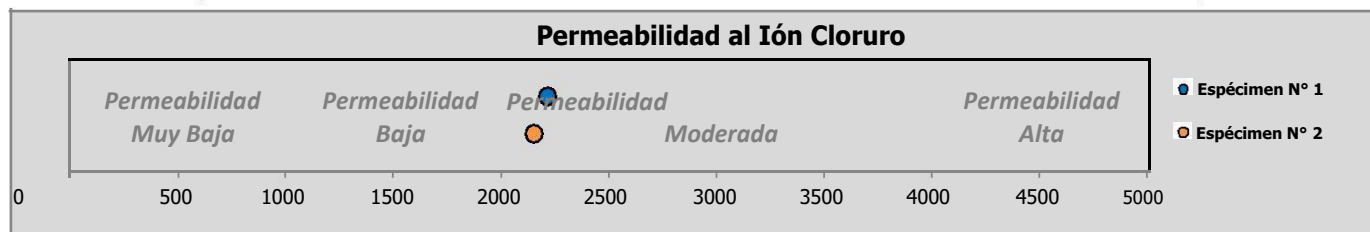
ORDEN DE TRABAJO	14785	INFORME N°	598-16
------------------	-------	------------	--------

Standard Test Method for Electrical Indication of Concrete's Ability to Resist Chloride Ion Penetration. ASTM C 1202-12

LABORATORIO DEL CONCRETO			
--------------------------	--	--	--

TEMPERATURA °C	23.0	HUMEDAD %	48
----------------	------	-----------	----

	Espécimen N° 1	Espécimen N° 2
EDAD (Días)	---	---
FECHA DE ENSAYO	2016-08-04	2016-08-04
DIAMETRO ESPÉCIMEN (mm)	101.8	101.1
CARGA ELÉCTRICA (Coulombs)	2545.5	2438.3
CARGA ELÉCTRICA CORREGIDA (Coulombs)	2216.8	2152.9
CARGA ELÉCTRICA CORREGIDA PROMEDIO (Coulombs)	2184.9	



OBSERVACIONES:	Se anexa registro fotográfico.
----------------	--------------------------------

FOR 012-080- VERSIÓN 00 - 2015-09-14

Sede Principal:
Calle 103 No. 15-80
PBX: (571) 618 0018
PBX: (571) 756 0990
Revisó:

Laboratorio del Concreto:
Calle 79B No. 51-45
PBX: (571) 610 0797
PBX: (571) 547 1700

Bogotá D.C., Colombia

Coordinador de Calidad _____ Aprobó: _____
Coordinador de Laboratorio

